

# Tulevaisuuden liikennemallit ja -ennusteet Kirjallisuus selvitys



**LVV**

LIIKENNE- JA  
VIESTINTÄMINISTERIÖ

## **Liikenne- ja viestintäministeriön**

### **visio**

Hyvinvointia ja kilpailukykyä hyvillä yhteyksillä

### **toiminta-ajatus**

Liikenne- ja viestintäministeriö edistää väestön hyvinvointia ja elinkeinoelämän kilpailukykyä. Huolehdimme toimivista, turvallisista ja edullisista yhteyksistä.

### **arvot**

Rohkeus

Oikeudenmukaisuus

Yhteistyö

Julkaisun nimi

**Tulevaisuuden liikennemallit ja -ennusteet. Kirjallisuusselvitys**

Tekijät

Tapani Särkkä, Hanna Kalenoja ja Joni Tefke, Sito Oy

Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä

Julkaisusarjan nimi ja numero

**Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 11/2016**

ISSN (verkkojulkaisu) 1795-4045

ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-485-2

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-485-2>

HARE-numero

Asiasanat

liikennemalli, liikenne-ennuste, mallijärjestelmä, tulevaisuuden tutkimus

Yhteyshenkilö

Tuomo Suvanto

Muut tiedot

Tiivistelmä

Liikenteen kysyntään vaikuttavat monet suuret toimintaympäristön muutokset, jotka heijastuvat myös liikenteen mallintamisen ja liikenne-ennusteiden laatimisen kehittämistarpeisiin. Digitalisatio luo mahdollisuuksia kehittää uudentyyppisiä kysyntälähtöisiä liikennepalveluja, jotka muuttavat perinteistä tapaa suunnitella liikkumista, ostaa liikkumispalveluja ja omistaa liikennevälineitä. Liikennejärjestelmän kehittämisessä on varauduttava myös automatisaatioon ja autonomisten ajoneuvojen yleistymiseen, mikä avaa uusia mahdollisuuksia väyläkapasiteetin tehostamiseen. Liikenneinfrastruktuurin käytön tehostuminen ja uudenlaiset liikennepalvelut vaikuttavat myös alueidenkäytön suunnitteluun.

Kirjallisuusselvityksessä on kartoitettu, miten nykyistä liikennemallinnustapoja ja -ennusteita voidaan kehittää siten, että ne ottaisivat huomioon liikenteen toimintaympäristössä tapahtuvat suuret muutokset. Työssä on selvitetty, millaisia malleja muuttuvassa ja epävarmassa tilanteessa voidaan käyttää ja mitkä ovat niiden rajoitteet ja reunaehdot.

Liikennemallien lupaavimpia kehityssuuntia ovat mallien kehittäminen matkaketjulähtöisiksi tai aktiviteettimalleihin pohjautuviksi. Samalla olisi mahdollista kytkeä toimintaympäristön merkittävimmät muutokset aiempaa laajemmin valtakunnalliseen mallijärjestelmään. Valtakunnallisten kulkutapamallien lähtötietoina ovat mm. ajoneuvo- ja kommunikaatiotekniikan kehitys, väestön ja toimintojen ennakoitu sijoittuminen sekä taloudellinen kehitys. Tulevaisuudessa on mahdollista hyödyntää myös uudentyyppisiä big data -varantoja liikenteen kehityksen seurannassa ja luoda niihin pohjautuvia lyhyen tähtäyksen kehityksen arviointimalleja. Valtakunnallista liikennemallia voidaan kehittää liittämällä siihen simulaatio-osia tai dynaamisella systeemimallilla, joka ottaa huomioon myös muuttujien keskinäisiä riippuvuuksia.

## Publikation

**Framtidens transportmodeller och trafikprognoser. Litteraturstudie**

## Författare

Tapani Särkkä, Hanna Kalenoja och Joni Tefke, Sito Oy

## Tillsatt av och datum

## Publikationsseriens namn och nummer

**Kommunikationsministeriets  
publikationer 11/2016**

ISSN (webbpublikation) 1795-4045

ISBN (webbpublikation) 978-952-243-485-2

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-485-2>

HARE-nummer

## Ämnesord

transportmodell, trafikprognos, modellsystem, framtidsforskning

## Kontaktperson

Tuomo Suvanto

## Rapportens språk

Finska

## Övriga uppgifter

## Sammandrag

Efterfrågan på transporter påverkas av flera stora förändringar i omgivningen, som också återspeglas i behoven att utveckla transportmodeller och trafikprognoser. Digitaliseringen skapar möjligheter att utveckla transporttjänster av nya slag, som är efterfrågeinriktade och som förändrar det traditionella sättet att planera mobilitet, köpa mobilitetstjänster och äga transportmedel. Vid utvecklandet av trafiksystemet måste man också bereda sig på automatiseringen och på att autonoma fordon blir allmänna. Detta öppnar för nya möjligheter att effektivisera trafikledskapaciteten. När användningen av trafikinfrastrukturen blir effektivare och transporttjänster av nya slag kommer till, påverkar detta också planeringen av områdesanvändningen.

I denna litteraturstudie har det kartlagts hur man kan utveckla de nuvarande transportmodelleringssätten och trafikprognoserna så att de beaktar de stora förändringar som sker i trafikens omgivning. I studien har man rätt ut hurdana modeller som kan användas i en föränderlig och osäker situation och vilka dessa modellers begränsningar och villkor är.

De mest lovande utvecklingstrenderna för transportmodellerna är att modellerna utvecklas så att de inriktas på resekedjor eller så att de grundar sig på aktivitetsmodeller. Samtidigt vore det möjligt att koppla de mest betydande förändringarna i omgivningen till ett riksomfattande modellsystem i vidare bemärkelse än tidigare. Den information som de riksomfattande färdssättsmodellerna utgår ifrån är bl.a. utvecklingen inom fordons- och kommunikationstekniken, prognoser för var befolkningen och verksamheterna kommer att finnas samt den ekonomiska utvecklingen. I framtiden är det möjligt att utnyttja också big data -reserver av nya slag i bevakningen av trafikutvecklingen och att skapa utvärderingsmodeller, som grundar sig på dessa, för utvecklingen på kort sikt. En riksomfattande transportmodell kan utvecklas genom att simuleringsdelar fogas till den eller genom en dynamisk systemmodell, som också beaktar variabelernas ömsesidiga beroende.

Date  
6.7.2016

**Title of publication**

**Future transport models and forecasts. Literature survey**

**Author(s)**

Tapani Särkkä, Hanna Kalenoja and Joni Tefke, Sito Oy

**Commissioned by, date**

**Publication series and number**

**Publications of the Ministry of Transport  
and Communications 11/2016**

ISSN (online) 1795-4045

ISBN (online) 978-952-243-485-2

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-485-2>

Reference number

**Keywords**

transport model, transport forecast, modelling system, futures research

**Contact person**

Tuomo Suvanto

**Language of the report**

**Other information**

**Abstract**

The demand for transport depends on various major changes in the operating environment, which are also reflected in the modelling of transport systems and development needs relating to transport forecasts. Digitalisation creates opportunities to develop new kinds of demand-driven transport services that will change the traditional ways of transport planning, purchasing transport services and owning transport vehicles. In developing the transport systems we must also prepare for increased automation and use of autonomous vehicles, which opens up new opportunities for more efficient transport route capacity. More efficient use of transport infrastructure and new kinds of transport services also impact on land use planning.

The literature survey was concerned with how the present transport modelling methods and forecasts can be developed to take account of the great changes in the operating environment of transport services. We also studied the kinds of models that can be used in changing and uncertain situations and their constraints and framework conditions.

The most promising trends include turning the models into ones driven by travel chains or based on activity models. This would also allow to link the most significant changes in the operating environment more broadly to the national modelling system. The baseline data for the national mode of transport models include the development of vehicle and communications technologies, predicted geographical distribution of the population and activities, and economic development. In the future it will also be possible to use the new kinds of big data reserves in monitoring the transport trends and to create short-term estimation models based on these. The national transport model can be developed by incorporating simulation elements into it or by using a dynamic system model which also takes account of interdependencies between variables.

# Sisällysluettelo

<b>1.</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Nykyiset liikenne-ennusteiden käytännöt .....</b>	<b>4</b>
2.1	Valtakunnalliset liikennemallit .....	4
2.2	Liikennemuotokohtaiset liikenne-ennusteet .....	6
2.3	Hankearvioinnin liikenne-ennusteet.....	6
<b>3.</b>	<b>Kysynnän mallintamisen lähtökohtia .....</b>	<b>8</b>
3.1	Laadulliset mallit .....	9
3.2	Kysynnän simulointi .....	10
3.3	Aikasarjamallit.....	10
3.4	Analyttiset mallit .....	11
3.5	Simulaatiomallit.....	14
<b>4.</b>	<b>Liikenne-ennusteiden muuttuvat tarpeet ja vaatimukset .....</b>	<b>16</b>
4.1	Toimintaympäristön muutokset tulevaisuuden liikennejärjestelmä .....	16
4.1.1	Kaupungistuminen .....	16
4.1.2	Demografiset muutokset ja kotitalousrakenteen muutokset.....	19
4.1.3	Autojen omistamisen ja käyttötapojen muutokset.....	21
4.1.4	Ajoneuvotekniikka .....	22
4.1.5	Tietoliikenne- ja viestintäpalvelujen kehittyminen .....	26
4.2	Lähtötietojen saatavuuden paraneminen .....	29
<b>5.</b>	<b>Kehittämis ehdotukset.....</b>	<b>31</b>
5.1	Nykyisten menetelmien kehittäminen .....	31
5.2	Uudet mallinnusmenetelmät.....	32
5.3	Menetelmien kehittämistarpeet .....	32
	<b>Lähteet.....</b>	<b>35</b>

# 1. Johdanto

Tulevaisuuden liikennejärjestelmässä infrastruktuuri, palvelut ja tieto muodostavat monipuolisen ja toisiaan vahvistavan kokonaisuuden. Digitalisaatio luo mahdollisuuksia kehittää uudentyyppisiä kysyntälähtöisiä liikennepalveluja, jotka muuttavat perinteistä tapaa suunnitella liikkumista, ostaa liikkumispalveluja ja omistaa liikennevälineitä. Liikennejärjestelmän kehittämisessä on varauduttava myös automatisaatioon ja autonomisten ajoneuvojen yleistymiseen, mikä avaa uusia mahdollisuuksia väyläkapasiteetin hyödyntämiseen ja liikennetomiamialan tuottavuuden parantamiseen. Liikenneinfrastruktuurin käytön tehostuminen ja uudenlaiset liikennepalvelut vaikuttavat myös alueidenkäytön suunnitteluun. Toisaalta voidaan hyödyntää tehokkaamman liikennejärjestelmän ansiosta vähentävä liikennealueiden tilantarve, mutta on myös varauduttava kehittyneiden liikennepalveluiden mukanaan tuomiin vaatimuksiin mm. väylien varustetasossa. (YM et al. 2015)

Suomessa ei ole ollut käytössä valtakunnallista liikennemallijärjestelmää toisin kuin muissa Pohjoismaissa. Suomessa liikennemalleja on laadittu pääosin alueellisina. Pisimmät perinteet ovat Helsingin seudun liikennemallijärjestelmällä, jota on ylläpidetty jo useiden vuosikymmenten ajan. Liikennemallien tavoitteena voi olla liikennepoliittisten toimien ja erityyppisten investointien vaikutusten arviointi tai toisaalta liikennejärjestelmän suunnitteluun liittyvien ennusteiden laatiminen. Mallin tavoitteet ja toisaalta käytettävissä olevat lähtötiedot vaikuttavat siihen, mitä menetelmiä mallissa on mielekästä hyödyntää.

Liikennevirasto ja sen edeltäjänä Tiehallinto on tuottanut lähtöaineistoja ja työkaluja valtakunnallisten liikenne-ennustetarkastelujen tekemiseen ja kehittänyt niitä erillisselvityksissä, mutta niissä laaditut mallit eivät muodosta valtakunnallista yleisennusteiden laadintaan soveltuvaa ennustemallijärjestelmää. Valtakunnallisten mallien eräänlaisena pilottina laadittiin vuonna 1996 valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen aineistoon perustuva HELVI-malli, jonka käyttöä hankaloittivat epäkäytännöllinen käyttöliittymä ja mallinnuksen kannalta suppea liikennetutkimusaineisto. Vuonna 2002 selvitettiin ruotsalaisen Sampers-mallijärjestelmän siirtomahdollisuuksia Suomeen, mutta selvityksen perusteella siirtoa ei nähty järkeväksi toteuttaa. Valtakunnallisten liikenne-ennusteiden pohjaksi on laadittu tie- ja rautatieliikenteen verkkomallit, mutta niitä ei ole yhdistetty mallijärjestelmäksi, vaan ne ovat toimineet lähinnä eri tavoin tuotettujen kysyntämatriisien sijoittelualustana.

Liikennevirastossa pitkän aikavälin tavoitteena on ollut luoda eri liikennemuodot kattava valtakunnallisen liikenteen ennustamiseen soveltuva mallijärjestelmä. Meneillään olevan vuonna 2017 valmistuvan valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen laajennetut otoskoot antavat aikaisempaa paremmat lähtökohdat valtakunnallisten mallien laadintaan. Liikennevirasto on vuonna 2016 käynnistänyt liikenne-ennusteita ja vaikutusarviointia koskevan tutkimuskokonaisuuden. Sen tavoitteena on parantaa liikennejärjestelmän ennusteprosessia siten, että nykyisin liikennemuotokohtaisina tehtyjen liikenne-ennusteiden perusaineistot ja kysynnän mallinnus muodostaisivat yhtenäisen alustan, johon yksityiskohtaisemmat liikennemuotokohtaiset ennusteet pohjautuvat. Lisäksi tavoitteena on kartoittaa liikenteen mallintamisen lähtöaineistojen kehittämisen mahdollisuuksia, joka osaltaan palvelee myös mallinnusmenetelmien kehittämistä sekä parantaa ennusteiden ajantasaisuutta ja käyttökelpoisuutta.

Tässä kirjallisuusselvityksessä on kartoitettu, miten nykyisiä liikennemallinnustapoja ja -ennusteita voitaisiin kehittää siten, että ne ottaisivat huomioon liikenteen toimintaympäristössä tapahtuvat suuret muutokset. Työ on rajattu pääosin henkilöliikenteen ennusteisiin. Työssä on selvitetty, millaisia malleja muuttuvassa ja epävarmassa tilanteessa voidaan käyttää ja millaiset mallit olisivat hyödyllisimpiä kuvaamaan tulevaisuutta. Mallinnuksen lähtökohtana on, että mallintajat ja päätöksentekijät ymmärtävät liikenteen systeemitason muuttumisen.

Tärkeimpiä toimintaympäristön muutostekijöitä ovat muun muassa:

- sähköautot (käyttövoiman muutos)
- ajoneuvojen automaatioasteen lisääntyminen
- uudentyyppiset eri kulkutapoja yhdistelevät liikennepalvelut (mm. ns. MaaS-palvelut)
- digitalisaatio
- henkilö- ja tavarakuljetusmarkkinoiden konvergoituminen
- autojen omistuksen muutos ja käyttöasteen muutokset (kimppakyydit, yhteiskäyttöiset ajoneuvot)
- fyysisen liikkumisen ja sähköisen kommunikaation rajan muutokset

Yhtenä lähtökohtana on valtakunnallinen näkökulma. Toisaalta yhdyskunta- ja aluerakenteen yhtenä tärkeimpänä muutosvoimana on kaupungistuminen ja liikenteen kysynnän suurimmat muutokset kohdistuvat kaupunkiseuduille ja kaupunkiseutujen väliseen liikkumiseen.

Hyvälle liikennemallille voidaan asettaa kolme perusvaatimusta:

1. kuvaa nykytilanteen (jolle se estimoidaan ja kalibroidaan) liikenneolot riittävällä tarkkuudella
2. reagoi loogisesti tutkittaviin liikennejärjestelmän ja toimintaympäristön muutoksiin
3. reagoi loogisesti lähtötietojen muutoksiin

Koska nykyiset liikennemallit estimoidaan nykytilanteeseen (vain siihen saakka on tutkimus- ja tilastotietoja), ne soveltuvat hyvin vakaisiin olosuhteisiin ja tilanteisiin, jossa nykytilanne tunnetaan hyvin. Jos tulevaisuus on epävarma tai tapahtuu suuria muutoksia, nykytilanteeseen ja käyttäytymiseen sovitettut mallit eivät ole käyttökelpoisia.

Tulevaisuus näyttää tällä hetkellä epävarmalta: toisaalta näyttää syntyvän aivan uusia tapoja matkustaa, toisaalta globaalitalouden aikana talouskehityksen ja teknologisen kehityksen ennakointi ja kuluttajapreferenssien ennakointi on muodostumassa yhä haastavammaksi. Tarvitaan monenlaisia menetelmällisesti toisiaan täydentäviä malleja, jotta olisi mahdollista muodostaa käsitys liikenteen kysynnän kehityksestä tulevien vuosikymmenten aikana.



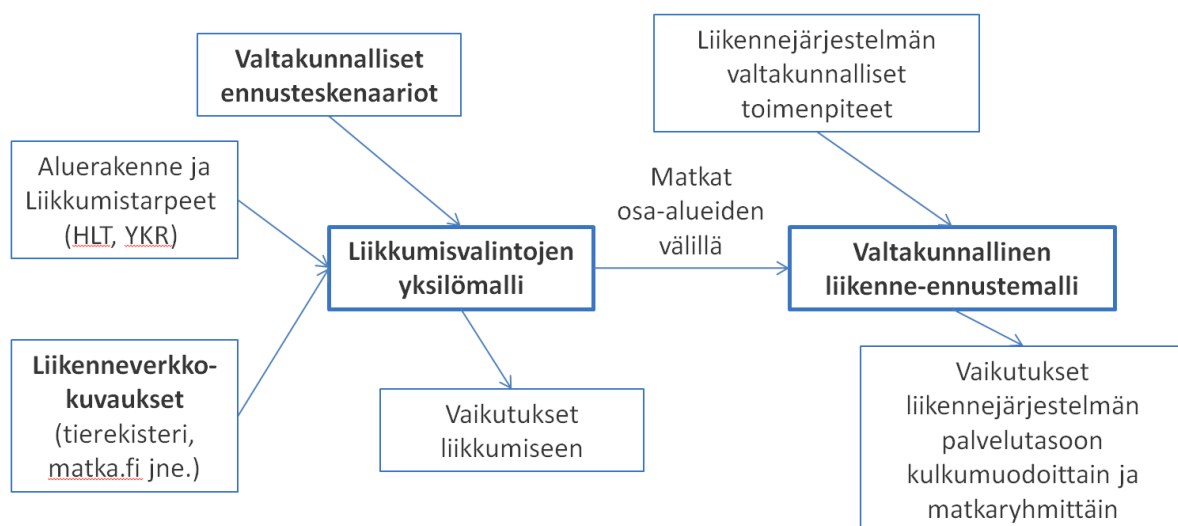
## 2. Nykyiset liikenne-ennusteiden käytännöt

### 2.1 Valtakunnalliset liikennemallit

Liikennevirastossa on kehitetty menetelmiä valtakunnallisten liikenne-ennustetarkastelujen laatimiseksi liikennemalleilla. Lähtökohtana ovat eri liikennemuotojen liikenneverkkokuvaukset ja joukkoliikennelinjastot sekä nykytilannetta kuvaavat kysyntämatriisit. Näiden pohjalta on laadittu valtakunnalliset paikkatietopohjaiset liikkumisen tunnuslukuja kuvaavat mallit, joissa on kehitetty ja testattu uudenlaisia menetelmiä valtakunnallisen liikenne-ennusteiden ja liikennevirtamatriisien laatimiseksi. Liikennevirtamatriiseilla voidaan laatia väyläkohtaisia liikenne-ennusteita sekä vaikutustarkasteluja valtakunnallisen Emme-ohjelmistossa toimivan liikenne-ennustemallin avulla. Liikenne-ennusteen päivityksessä liikkumistarpeiden ennustemenetelmän pohjaksi on luotu ajoneuvokannan rakenteen ja kustannusten kehitysennuste, jonka avulla yksilömallilla laadittuja suorite-ennusteita on tarkennettu. (Liikennevirasto 2016)

Liikenneviraston strategisten mallien kehittämistä koskevassa selvityksessä (Moilanen et al. 2011) suositeltiin siirryttävän mallijärjestelmään, jossa mallijärjestelmä koostuisi henkilö- ja tavaraliikenteen osamalleista ja niitä täydentävistä yleisistä malleista. Mallijärjestelmää on kehitetty tämän suuntaisesti 2010-luvun alkuvuosina.

Ennustemalleilla voidaan ensisijaisesti tarkastella strategisten politiikkatason toimenpiteiden vaikutuksia liikenteen kysyntään. Tarkoituksena on tuottaa liikkumistunnuslukuja sekä yksilömallilla että valtakunnallisella liikenne-ennustemallilla. Mallien yhteydet on esitetty kuvassa 1. (Liikennevirasto 2016)



Kuva 1. Liikenneviraston strategisen liikenne-ennustemallien rakenne. (Liikennevirasto 2016)

Jo 1970-luvulta asti säännöllisesti toteutettu valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus (HLT) on ollut tärkein liikkumistottumuksissa tapahtuneita muutoksia kuvaava tutkimusaineisto, joka on myös tärkein valtakunnallisten mallien pohjalla olevan nykytilannekuvauksen lähtöaineisto. Muun muassa valtakunnalliset yksilömallit (Moilanen et al, 2014b) perustuvat valtakunnalliseen henkilöliikennetutkimukseen. Yksilömallilla laaditussa kysyntäennusteessa asukkai-

den liikkumistarpeita kuvaavan henkilöliikennetutkimuksen tiedot on laajennettu koko Suomen väestön tulevaisuuden ikä- ja aluerakenteen mukaiseksi.

Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus on toteutettu viime vuosikymmenten aikana kuuden vuoden välein. Parhaillaan meneillään olevassa vuoden 2016 alussa käynnistyneessä tutkimuskierroksessa henkilöliikennetutkimuksen otosta on voitu merkittävästi suurentaa, sillä aiemman suuruisen valtakunnallisen tutkimusotoksen (21 000 henkilöä) lisäksi tutkimukseen on voitu sisällyttää alueelliset lisäotokset. Tutkimuksen kokonaisotos on noin 65 000 henkilöä, josta 21 000 henkilöä kuuluu valtakunnalliseen otokseen ja noin 44 000 painottuu tutkimukseen osallistuville suurille ja keskisuurille kaupunkiseuduille. Aiempaa laajempaan toteutettu henkilöliikennetutkimuksen tiedonkeruu antaa mahdollisuuksia valtakunnallisten ja alueellisten liikennemallien kehittämiseen. Varsinaisen tutkimuksen rinnalla pilotoidaan kolmea erilaista paikannuspohjaista tiedonkeruumenetelmää, joita ovat matkapuhelinpaikannus, gps-laitteeseen perustuva paikannus sekä matkapuhelinverkkodatan hyödyntäminen. (HLT 2016)

Liikkumisvalintojen yksilömalli sisältää kuvauksen valtakunnallisesta henkilöliikenteestä sekä alue- ja yhdyskuntarakenteesta. Yksilömallin tavoitteena on ollut muodostaa erilaisten käyttäjäryhmien liikkumista kuvaava laskennallinen malli, joka kattaa kaikki liikennemuodot. Yksilömallissa on käytetty aikaisempaa kattavammin eri tietoaineistoja yhdistämällä ne toisiinsa paikkatiedon avulla ja soveltamalla Brutus-simulointimenetelmää. Malli kuvaa asuttua alue- ja yhdyskuntarakennetta neliökilometrin tarkkuudella. Tie- ja katuinfrastruktuurista verkkomallissa ovat Liikenneviraston tierekisterissä kuvatut yleiset tiet. Joukkoliikenteen kuvauksen pohjana on ollut joukkoliikenteen valtakunnallisen reittitietopalvelun aineisto. (Moilanen et al, 2014b)

Mallissa liikkumista kuvataan erilaisten simuloivien osamallien avulla. Mallissa on mahdollista kuvata yksilöllisiä valintoja ja ottaa huomioon matkaketjut ja matkojen muuttuvat ajankohdat. Maankäytön eri toimintojen aiheuttamaa liikenteen kysyntää mallinnetaan autonomistuksen, matkatuotoksen, suuntautumisen, kulkutavan valinnan ja myös reittien sijoittumisen suhteen.

Yksilömallia on käytetty muun muassa tiemaksuskenaarioiden vaikutusten arvioinnissa ja niiden avulla on tehty arvio kotimaan henkilöliikenteen määrästä ja suuntautumisesta vuosina 2025 ja 2040. Ennusteet perustuivat Tilastokeskuksen väestöennusteisiin ja oletettuun bruttokansantuotteen kasvuun yhdellä prosentilla vuodessa. (Moilanen et al, 2014b)

Valtakunnallisten liikenne-ennusteiden laadintaan on myös kehitetty skenaariotyökalu, joka pohjautuu Liikennevirastossa kehitettyyn valtakunnalliseen liikennemallimenetelmään. Työkalun pääkomponentteina ovat ajoneuvokannan makromalli sekä valtakunnallinen Brutus-simulointimenetelmään perustuva yksilömalli. Skenaariotyökalulla on tuotettu kolme ennusteskenaariota, jotka ovat trendiskenaario, perusskenaario ja hinnoitteluskenaario. Trendiskenaario noudattaa viimeaikaista talous- ja hinnoittelukehitystä. Perusskenaariossa ja hinnoitteluskenaariossa on korotettu polttoaineveroa. (Strafica 2015)

Valtakunnallisia liikenne-ennustemalleja tukevat osaltaan alueelliset liikennemallit, joista kat-tavin ja maantieteellisesti laajin on Helsingin seudun liikennemalli (HSL 2011a). Helsingin seudun liikennemallia on ylläpidetty ja kehitetty systemaattisesti 1980-luvulta asti vaikutusten arvioinnin tarpeisiin. Se pohjautuu säännöllisiin matkapäiväkirja- ja määräpaikkatutkimuksina tehtäviin liikennetutkimuksiin. Viimeksi vuonna 2011 päivitetty HSL-alueen Helmet-mallijärjestelmä kattaa lähes koko Uudenmaan alueen. Malli on rakenteeltaan neliportainen malli, joka sisältää matkatuotosten, kulkutavan, matkojen suuntautumisen ja reitin valinnan mallintamisen. Malliin kuuluvat kysyntämallit sekä liikenneverkon tarjontamallit. Lisäksi Helsingin seudulle on laadittu samasta liikennetutkimusaineistosta yksilömallit (HESY-mallit) (HSL 2011b).

Helsingin seudulle on laadittu myös Brutus-mallijärjestelmään perustuva ruutupohjainen malli, joita on käytetty muun muassa maankäytön erilaisten kehityskuvien liikenteellisten vaikutusten arviointiin. (HSL 2012)

## 2.2 Liikennemuotokohtaiset liikenne-ennusteet

Valtakunnallisten liikenne-ennusteiden laadinnassa on osin käytetty erilaisia liikennemalleja taustamalleina. Valtakunnalliset liikennemuotokohtaiset tarkennetut ennusteet on tuotettu erillään yksilömalleista ja niissä ei yleensä ole hyödynnetty kulkutavan tai kuljetusmuodon valintamalleja.

Tieliikenteen valtakunnallinen ennuste vuosille 2030 ja 2050 perustuu talouskehitykseen sekä alue- ja yhdyskuntarakenteen kehitykseen. Ennuste kuvaa henkilöautoliikennettä ja kuorma-autoliikennettä. Kulkutavan valintaa on tarkasteltu asiantuntija-arviona tehdyillä herkkyyss-tarkasteluilla, joiden avulla on selvitetty joukkoliikenteen kysynnän kasvun vaikutuksia tieliikenteen kysyntään. Kulkutavan valintaa ei tieliikenne-ennusteessa ole mallinnettu. (Ristikartano et al. 2014)

Rautateiden henkilöliikenteen ennusteet rataosakohtaisina matkustajamääräennusteina on laadittu valtakunnallisella henkilöjunaliikennettä käsittelevällä liikenne-ennustemallilla, joka sisältää myös kulkutavan valintamallin. Malliin on kuvattu kunta-aluejaolla juna-, henkilöauto-, linja-auto- ja lentoliikenne. Malli on luonteeltaan muutosmalli, jolla arvioidaan liikennejärjestelmän muutoksen aiheuttamia vaikutuksia junamatkojen määrään perusvuoden tiedossa olevaan liikennekysyntään nähden. Liikenne-ennusteita laadittaessa tärkeimpänä muuttujana on asemavälikohtaisten matka-aikojen muutos. (Rinta-Piirto 2011)

Rautateiden tavaraliikenne-ennusteen lähtötietoja ovat olleet tiedot nykyisistä rautatiekuljetuksista, nykyisten ja potentiaalisten uusien kuljetusasiakkaiden haastattelut sekä asiantuntija-arviot ja selvitykset rautatiekuljetusten kehitykseen vaikuttavista toimintaympäristön muutoksista. Puukuljetusten ennusteissa hyödynnettiin lisäksi Liikenneviraston valtakunnallisia raakapuun ja energiapuun optimointimalleja. Rataverkon tavaraliikenne-ennuste on laadittu vuodelle 2035 erikseen kotimaan tavaraliikenteelle ja transitoliikenteelle. Kotimaan tavaraliikenne-ennuste on jaettu yhdeksään eri tavararyhmään. Rautateiden tavaraliikenne-ennusteessa on käytetty reitin valintaa kuvaavaa sijoittelumallia. (Lapp ja Ilkkanen 2014a)

Suomen ja ulkomaiden välisen meriliikenteen ennuste vuodelle 2040 perustuu arvioihin vientimarkkinoiden talouden, suomalaisten tuotteiden kilpailukyvyyn sekä tuotteiden jalostusasteen kehittymisestä. Tuonnin ennusteet pohjautuvat toimialojen vientiennusteisiin ja talouskehitykseen. Lisäksi sekä viennin että tuonnin ennusteissa on otettu huomioon erilaiset toimialakohtaiset erityistekijät, jotka vaikuttavat kuljetusmäärään. Ennusteet on laadittu toimialoittain Liikenneviraston tilastojen mukaista tavararyhmäjakoja käyttäen. Viennin, tuonnin ja transitoliikenteen ennusteet on jaettu merialueittain sekä kuljetustavoittain irtotavaran, suuryksiköiden ja muun yksiköidyn tavarankuljetuksiin. (Lapp ja Ilkkanen 2014b)

## 2.3 Hankearvioinnin liikenne-ennusteet

Hankearviointiin liittyvien liikenne-ennusteiden muodostamiseen Liikennevirasto käyttää erilaisia menetelmiä. Niiden käyttötarvetta harkitaan ottamalla huomioon hankkeen laajuus ja sijainti. Selkeissä ja yksinkertaisissa hankearvioinneissa pyritään aina perustellun ja analyttisen liikenne-ennusteen käyttöön.

Liikenne-ennustetavan valinta liittyy oleellisesti hankkeen arviointitapaukseen sekä vaikutusalueen rajaukseen. Käytettäviä liikenne-ennustetapoja on kolme eri vaihtoehtoa (Liikennevirasto 2016):

1. Tieliikenteen yleiset liikennemuotokohtaiset tai hankekohtaisesti määritetyt ennusteet. Tieliikenteen ennuste on sisällytetty IVAR-arviointimenetelmään, jolloin valtakunnallinen ennuste kuvautuu myös hanketason ennusteisiin.

2. Seudulliset tieverkkotarkastelut eli seutujen omat räätälöidyt mallijärjestelmät ja niiden perusteella tehdyt ennusteet. Näitä voidaan käyttää kaupunkiseuduilla, joissa ei ole olemassa seudullista liikennemallia.

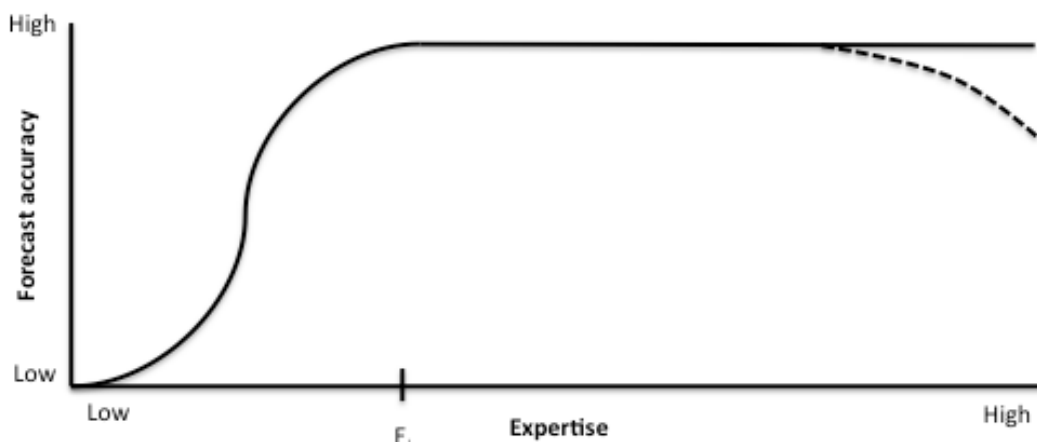
3. Seudulliset liikennemallit ja niiden perusteella muodostetut ennusteet. Näiden pohjalta voidaan tehdä hankearviointeja niillä kaupunkiseuduilla, joissa on olemassa seudullinen liikennemalli (esimerkiksi Helsingin seutu, Tampere, Turku, Oulu, Kuopio ja Vaasa).

Hankearvioinnissa käytettävää ennustetta valittaessa varmistetaan, että ennuste vastaa realistista käsitystä liikenteen kasvusta. Ennusteeseen ei sisällytetä sellaisia liikenteen kysyntään vaikuttavia muutoksia, joiden toteutumisesta ei ole varmuutta (esimerkiksi tienkäyttömaksut, viisumivapaus). Näiden tekijöiden vaikutusta hankkeen kannattavuuteen tutkitaan herkkyystarkasteluilla.

### 3. Kysynnän mallintamisen lähtökohtia

Liikenteen kysyntää voidaan mallintaa hyvin erityyppisillä menetelmillä aina asiantuntija-arvioista ja yksinkertaisista kasvukerroinmalleista monimutkaisiin matemaattisiin malleihin. Edelliset perustuvat kokemukseen ja järkeilyyn, viime mainitut yleensä estimoidaan analyttisin menetelmin kvantitatiivisesta havaintoaineistosta.

Ennusteiden tarkkuuteen ja toimivuuteen vaikuttaa myös se, miten hyvin ilmiö tunnetaan. Ennustemenetelmät vaihtuvat ilmiön elinkaaren aikana. Jos ilmiön vaikutuksia ei tunneta vielä hyvin, voidaan esim. kysyä suurelta joukolta, mitä mieltä he ovat (kuva 2) ja päätellä vastauksista jotain. Kun ilmiö vakiintuu ja tunnetaan, voidaan luoda analyttisiä malleja. Ennakoinnissa ilmenee uudelleen haasteita, kun ilmiö lähestyy elinkaarensa loppua.



Kuva 2. Asiantuntijuuden ja ennusteiden tarkkuuden suhde (Armstrong 1985).

Vaikka mallintamista ja ennustamista ei voida täysin erottaa toisistaan, niillä on pieni, mutta tärkeä ero. Mallintaminen on sellaisten työkalujen kehittämistä ja soveltamista, joilla pystytään arvioimaan liikennetarjonnassa tapahtuvien muutosten vaikutuksia loogisesti ja johdonmukaisella tavalla. Niiden pitää antaa päätöksentekoon ja vaihtoehtojen vertailuun vertailukelpoisia lähtötietoja.

Ennustamisessa yritetään tuottaa tietoa tulevaisuuden tilanteesta, liikennevirroista, maankäytöstä jne. Ennusteita tuotetaan tavallisesti malleilla, mutta muitakin keinoja voidaan käyttää. Ennusteet poikkeavat toisistaan ja niitä voidaan vertailla ennusteen laatijan kokemuksen, tulosten järkevyyden, käytetyn mallin ja lähtötietojen ja muiden lähtöoletusten perusteella. Ennusteen onnistuminen mitataan viime kädessä ajan kuluessa.

On tärkeää ymmärtää näiden kahden toiminnon ero, koska se vaikuttaa menetelmän valintaan olennaisella tavalla. Jos tavoitteena on liikenne-ennuste, on parasta määritellä tekijät, jotka todennäköisimmin vaikuttavat ennusteeseen ja keskittyä saamaan ne oikein. Jos tavoitteena on antaa pohjaa liikennepoliittiselle päätöksenteolle, saatetaan tarvita uusia tutkimuksia liikennejärjestelmän toiminnan paremmaksi ymmärtämiseksi. Mitä enemmän tarvitaan vastauksia strategisen tason suunnitteluun, sitä enemmän tarvitaan mallikeskeistä ajattelua. Tutkimuksilla ja malleilla voidaan yrittää löytää ymmärrystä, kun liikennejärjestelmään tarjotaan täysin uusia osia. On myös tärkeää huomata, ettei kumpikaan lähestymistapa ole siinänsä oikein tai väärin, vaan ne heijastavat liikenteen kysyntäennusteen erilaisia käyttötärpeitä ja tärkeysjärjestystä. (TRB 2010)

## 3.1 Laadulliset mallit

### Delphi-menetelmä

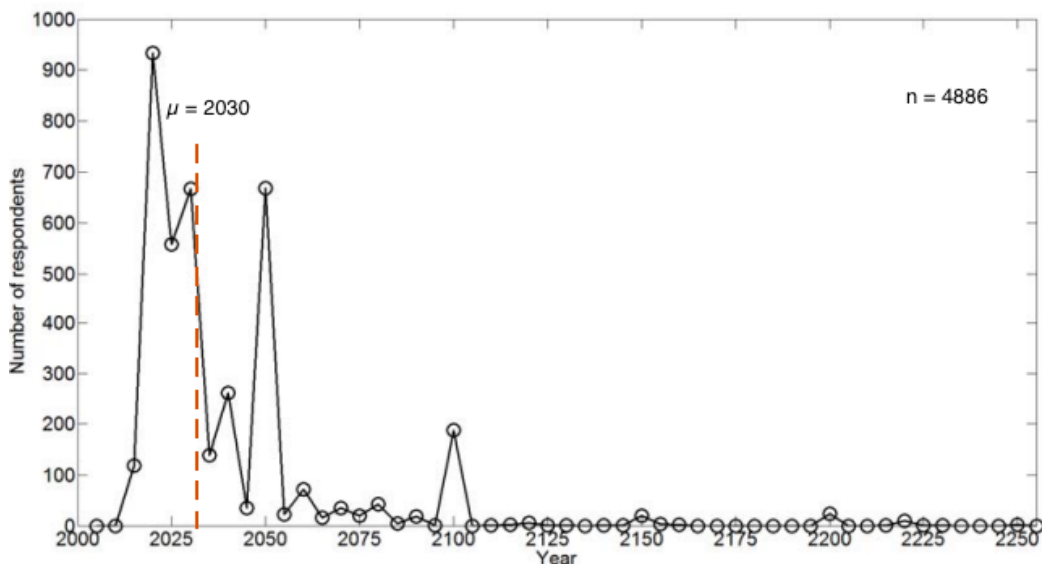
Delphi-menetelmä on tulevaisuuden tutkimuksen menetelmävalikoimaan kuuluva asiantuntijaryhmän haastattelu, jossa kunkin vastaukset auttavat yhteisen näkemyksen luomista iteratiivisesti. Menetelmä on käyttökelpoinen, jos asiantuntijoilla on hyvä käsitys asiasta tai ilmiöstä, mutta sen avulla on haastavaa tuottaa kvantitatiivisia ennusteita.

### Asiantuntija-arviot

Liikenne-ennusteita voidaan tuottaa myös asiantuntija-arvioina. Erityisesti lyhyen aikavälin kysyntäennusteet voidaan laskea talous- ja työllisyyskehityksen perusteella hyödyntämällä matkatuotoslaskentaa. Asiantuntija-arviona voidaan kerätä myös näkemyksiä toimintaympäristön laadullisista muutoksista. Varsinkin uuden teknologian yleistymisen on havaittu asiantuntija-arvioissa jäävän aliarvioiduksi, sillä eksponentiaalista kasvua on markkinoille tulon aikana haastavaa ennakoida (Armstrong 1985). Wagenaarin ja Sagarian (1975) tutkimusten mukaan asiantuntijaennusteet eksponentiaalisesta kasvusta ovat hyvin varovaisia.

### Markkinoiden ennusteteoria (Prediction market theory)

Tulevaa kysyntää voidaan määritellä myös arvioperusteisesti keräämällä havaintoja edustavalta joukolta yksilöitä. Markkinoiden ennusteteorioissa määritellään yksikäsitteinen kysymys, esimerkiksi kuinka paljon pingispalloja on astiassa, jonka vastaajat näkevät. On havaittu, että kun kysytään tarpeeksi monelta, vastausten keskiarvo alkaa lähestyä oikeaa vastausta. Menetelmää voidaan soveltaa esimerkiksi tulevaisuuden teknologisten ratkaisujen yleistymisen ennakkoinnissa, esimerkiksi arvioitaessa milloin robottiautot ovat markkinoille (kuva 3). Lähtökohtaisesti vastaajien ei markkinoiden ennusteteoriassa tarvitse olla asiantuntijoita, kunhan he ymmärtävät asian ja arvioitavan ilmiön aikajänne ei ole liian pitkä.



Kuva 3. Vastausten jakauma kysymykseen "Minä vuonna arvelette suurimman osan autoista pystyvän ajamaan automaattisesti?" (Kyriakidis et al. 2015, N=4886).

## 3.2 Kysynnän simulointi

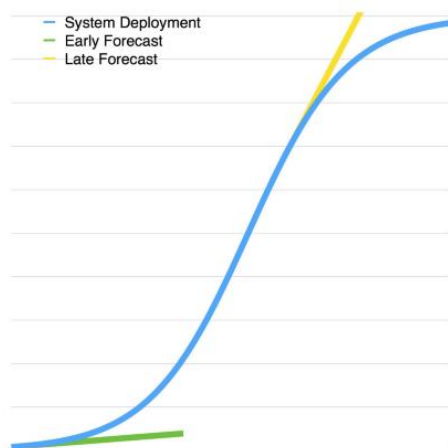
Liikenteen kysyntämallit, sekä perinteiset että kehittyneet, perustuvat yleensä todennäköisyyttä arvioiviin valintamalleihin. Kulkutavan valintamalli ennustaa todennäköisyyden, jolla tietty kulkutapa valitaan ottaen huomioon eri kulkutapojen tarjoamat hyödyt ja vastukset. Kerromalla joukkoliikenteen valintatodennäköisyydellä kokonaismatkamäärä, saadaan joukkoliikenteen käyttäjien matkamäärä tietyllä yhteysväliillä. Kysyntää voidaan arvioida myös simuloimalla. Tällöinkin vaihtoehdoille lasketaan valintatodennäköisyydet, joiden avulla arvotaan kunkin matkan kulkutapa. Molemmat mallit tuottavat yleisellä tasolla melko samansuuntaisia tuloksia.

Liikenteen ennustamisessa kysynnän simuloinnista saatetaan käyttää nimitystä mikrosimulointi. Kysynnän simulointia/mikrosimulointia ei pidä sekoittaa liikenteen mikrosimulointiin, jossa simuloidaan yksittäisten ajoneuvojen ja objektien liikettä. Kysynnän simulointiin on muutama käytännön peruste: ensinnäkin sillä saavutetaan hyötyjä laskennan tehoissa ja levytilan käytössä. Toiseksi, pitämällä kirjaa yksittäisten toimijoiden valinnoista varmistetaan toimijoiden myöhempien valintojen looginen yhteensopivuus aikaisempien valintojen kanssa. Kysynnän simulointi mahdollistaa siis monimutkaisempien ja kehittyneempien mallien kehityksen: jos valitsin tänään bussin, se vaikuttaa todennäköisesti päivän myöhempiin valintoihin.

Noin 20 vuotta sitten kehitetyssä valtakunnallisessa HELVI-mallissa käytettiin simulointia. Sen käyttö on kuitenkin jäänyt vähäiseksi. Vaikka se systeemitasolla ennustaa oikein, yksityiskohtien virheet ovat helposti huomattavan suuria.

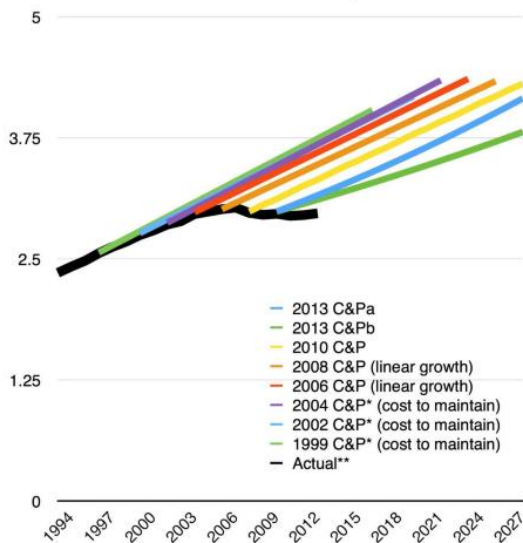
## 3.3 Aikasarjamallit

Kasvukerroinmallit perustuvat havaitun kehityksen ekstrapolointiin: kehityksen oletetaan jatkuvan aikaisemman kehityksen mukaisena tai muuttuvan toimintaympäristön muutosten vaikutuksesta. Autokantaennuste on tästä hyvä esimerkki (kuva 4). Se myös osoittaa trendin ekstrapoloinnin ongelmat: ilmiöiden yleistymiskehitys noudattaa usein S-käyrää. Alkuvaiheessa ilmiön kehitystä tyypillisesti aliarvioidaan ja saturaatiovaiheessa yliarvioidaan. Kehitys ikään kuin jatkuisi lineaarisesti vanhaan malliin. Uusissa liikennemalleissa tulisi kuvata oleelliset ilmiöt ja niihin vaikuttavat tekijät sekä havaita, missä vaiheissa kehitystä ollaan.



Kuva 4. Systeemien kehittyminen ja käyttöönotto vs. ekstrapolaatiomallit. (Levinson ja Krizek 2015)

Hyvän kuvan trendiä ekstrapoloivan kysyntämallin ongelmasta antaa Yhdysvaltojen tieliikenteen kysyntäennusteet viime vuosina (kuva 5). Lähes 10 vuoden ajan kysyntä (ajosuorite) on pysynyt suunnilleen samana, mutta ennusteissa se ei ole näkynyt kuin vaihesiirtona.



Kuva 5. Yhdysvaltojen valtatieverkon kysyntäennusteet (mrd. ajon.mailia) ovat olleet viime vuosina yliarvioivia. (Levinson ja Krizek 2015)

### 3.4 Analyttiset mallit

#### Gravitaatiomallit

Gravitaatio- eli vetovoimamalleja on käytetty liikenteen mallintamisessa jo 1950-luvulta saakka. Periaatteen kehitti jo Newton. Vetovoimamalleissa ”sosioekonomiset massat” vetävät toisiaan puoleensa. Vetovoimaa säätelevänä etäisyysfunktiona on esimerkiksi etäisyyden potenssiin korotettu käänteisluku, jossa eksponentti  $n$  ja kerroin  $k$  ovat estimoitavia parametreja:

$$k * \text{Massa}_i * \text{Massa}_j / \text{kust}_{ij}^n$$

Eräänlainen gravitaatiomalli on myös entropiamalli, joka on muotoa

$$k * \text{Massa}_i * \text{Massa}_j * \exp^{(-n)}$$

Gravitaatiomalleja ei yleensä käytetä monikulkumuotoisten järjestelmien mallintamiseen, mutta ne soveltuvat hyvin suuntautumismallien ja yhden kulkutavan liikenteen ennustamiseen ja autoliikennehankkeiden mitoitukseen. Gravitaatiomalleilla ei voi suoranaisesti käsitellä matkaketjuja.

#### Regressiomallit

Regressiomallien avulla voidaan tutkia yhden tai useamman selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan. Sen avulla voidaan pyrkiä vastaamaan esimerkiksi siihen vaikuttaako alueella sijaitsevien työpaikkojen määrä alueelle suuntautuvien matkojen pituuteen. Regressioanalyysin etuna on, että sillä voidaan tutkia yhtä aikaa monen selittävän muuttujan



vaikutusta selitettävään muuttujaan. Tulokset kertovat, mikä on yksittäisen selittävän muuttujan osuus silloin, kun muiden vaikuttavien tekijöiden vaikutus selitettävään muuttujaan on otettu huomioon. (KvantiMOTV 2015)

Regressiomallit ovat monipuolisia ja joustavia menetelmiä muuttujien välisten kausaalisuhteiden tutkimukseen. Regressiomallien edellytyksenä on, että selitettävä muuttuja on vähintään välimatka-asteikollinen. Selittävät muuttujat ovat yleensä myös vähintään välimatka-asteikollisia, mutta myös luokittelu- ja järjestysasteikollisia muuttujia voidaan sisällyttää analyysiin, jos niistä tehdään ns. dummy-muuttujia. (KvantiMOTV 2015)

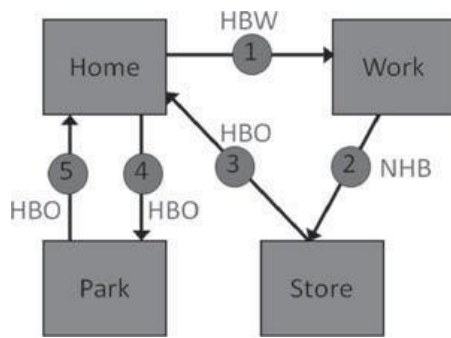
### Neliporrasmallit

Liikenteen mallintamisessa (esimerkiksi HSL:n Helmet-malli) käytetään yleisesti jo yli 50 vuotta sitten kehitettyä neliporrasmallia. Neliporrasmallissa mallinnetaan matkoja neljän päätoimintekovaiheen kautta, jotka ovat matkatuotosmalli, suuntautumismalli, kulkutavan valintamalli sekä reitinvalinta. Neliporrasmallien suurimpia puutteita on, että ne eivät lähtökohtaisesti kuvaa matkaketjuja, vaan yksittäisiä matkoja. Matkaketjujen avulla yksilön liikkumistotumuksia ja -valintoja olisi mahdollista kuvata totuudenmukaisemmin kuin yksittäisinä matkoina, sillä matkojen ominaisuudet – esimerkiksi määränpää ja kulkutapa – riippuvat yleensä toisistaan.

Neliporrasmalliprosessi toimii kohtuullisen hyvin ja loogisesti, joten se on edelleen vallitseva liikenne-ennusteiden laadintamenetelmä kaupunkiseutujen liikennemalleissa. Edellä mainitut heikkoudet on tunnistettu ja neliporrasmallin tarkkuutta on pyritty kehittämään. Usein se on merkinnyt monimutkaisuuden lisääntymistä ja malleja varten kerättävän lähtötietojen vaatimusten kasvamista. Monimutkaiset mallit eivät kuitenkaan aina ole parempia malleja tai ne eivät ole käyttökelpoisia hankearvioinnin tarpeisiin. Vasta viime aikoina on voitu ottaa käyttöön neliporrasmalleja korvaavia seudullisia mallijärjestelmiä, jotka perustuvat esimerkiksi aktiviteettimalleihin.

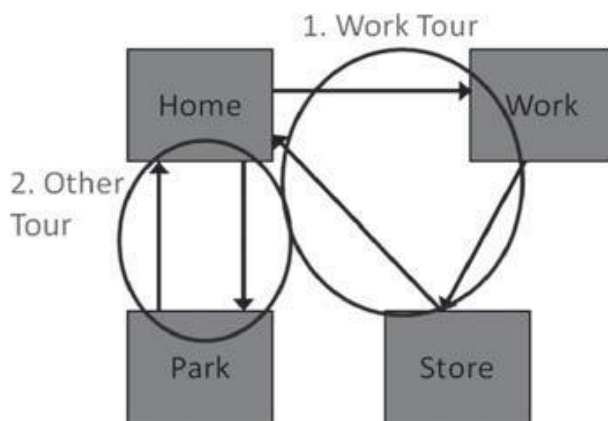
### Aktiviteettimallit

Perinteisissä malleissa ”matka” on analyysin perusyksikkö. Siinä lähtö- ja määräpaikka määrittelevät matkan. Kuvassa 6 on esimerkki viidestä päivän aikana tehtävästä matkasta. Matkapohjaisessa mallissa kukin matka mallinnetaan erillisenä, ilman että se liittyy muihin aktiviteetteihin tai paikkoihin. Esimerkissä matkat on luokiteltu kolmeen ryhmään: kotiperäiset työmatkat (HBW), kotiperäiset muut matkat (HBO) ja ei-kotiperäiset matkat (NHB). Jos matkan toinen pää on kotona, mallissa voidaan käyttää alueen sosioekonomisia ominaisuuksia. Sen sijaan ei-kotiperäisillä matkoilla tämä ei ole mahdollista. Kotiperäiset työmatkat (HBW) muodostavat mallissa tärkeän komponentin ruuhkaisen liikenteen kuvauksessa. Vaikka matkat 2 ja 3 muodostavat yhdessä työstä paluumatkan, niitä ei mallinneta työmatkana. Matkapohjainen malli kadottaa siten informaatiota matkojen välisestä riippuvuudesta ja vuorovaikutuksesta.



Kuva 6. Esimerkki matkoista. (Donnelly et al. 2010)

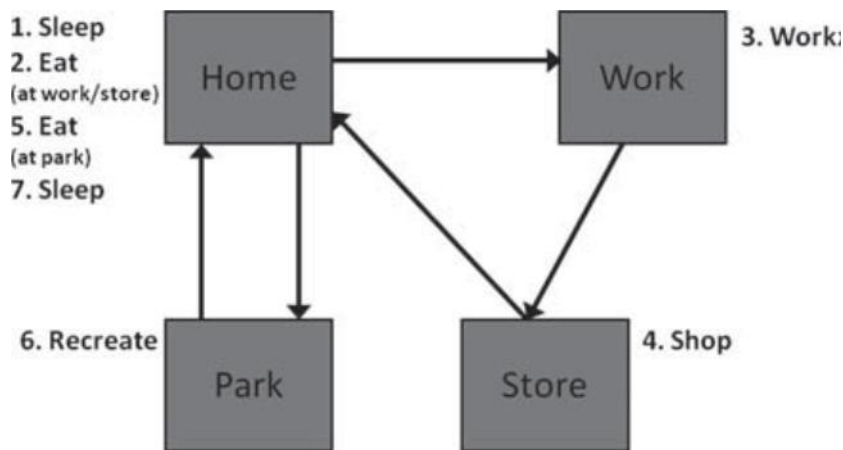
Kuvan 6 matkat voidaan esittää myös kahtena matkaketjuna (kuva 7), jotka alkavat kotona (työmatkaketju ja muu matkaketju). Matkaketjusta tulee analyysin pääyksikkö. Matkaketju-pohjaisissa malleissa päätöksenteko on edelleen matkojen tasolla, mutta matkojen pitää olla yhteensopivia sen matkaketjun kanssa, jonka osana ne ovat. Kun matkoja ryhmitellään matkaketjuiksi, päästään suurelta osin eroon informaation kato-ongelmasta, joka on matkapohjaista mallintamisen suurimpia heikkouksia. Koska ketjut voidaan aloittaa kotoa, mallissa voidaan käyttää lähtötietona osa-alueiden sosioekonomisia ominaisuuksia.



Kuva 7. Esimerkki matkaketjuista. (Donnelly et al. 2010)

Matkaketjupohjaista mallinnusta on jo voitu soveltaa ns. yksilömalleissa. Suomessa valtakunnallisena ja erikseen HSL-alueelle laadittu yksilömalli (ns. Brutus-malli) käsittelee matkoja matkaketjuina siten, että matkaketjujen määränpäätt simuloidaan vastaamaan mahdollisimman hyvin valtakunnallisessa liikennetutkimusaineistossa esiintyviä matkaketjuja. Mallissa erotetaan matkaketjusta määräävä tärkein määränpää, joka esimerkiksi siirtymässä kouluun asiointipaikan kautta on koulu. Matkaketjun yksittäiset päätepisteet mallinnetaan suuntautumismallin avulla. (Moilanen et al. 2014b, HSL 2012)

Aktiveiteettipohjaisessa liikennemallissa matkustaminen mallinnetaan aktiviteeteista johdettuna kysyntänä, eli tarpeesta ja ajallisista mahdollisuuksista osallistua aktiviteetteihin, kun taas matkapohjaisessa mallinnuksessa mallinnetaan suoraan matkoja. Kuva 8 näyttää saman matkustuspäivän kuin edellisen sivun kuvissa, mutta listaa aktiviteetit eri paikoissa.



Kuva 8. Esimerkki aktiviteeteista. (Donnelly et al. 2010)

Aktiviteettimallien lähtökohtana on, että matkan lähtökohtana on tarve tehdä työtä eikä työmatkoja, tehdä ostoksia eikä ostosmatkoja jne. Niinpä ne voivatkin mallintaa paremmin päätöksentekoa esimerkiksi tilanteessa, jossa vaihtoehtona on poiketa kauppaan kotimatalla tai tehdä kokonaan uusi ostosmatka myöhemmin kotoa lähtien. Ne voivat myös mallintaa valintaa ostosmatkan tai nettikaupan käytön välillä. Alan kirjallisuus ei ole vielä aivan yksimielinen matkaketjumallien ja aktiviteettimallien määrittelyistä ja eroista. Usein niillä tarkoitetaan samaa asiaa.

Matkaketju- ja aktiviteettipohjainen mallinnus edellyttää huomattavasti enemmän lähtötietoja kuin perinteinen matkojen mallintaminen. Liikennetutkimusten matkahavaintoaineistossa esiintyy huomattavasti erilaisia matkaketjukombinaatioita kuin yksittäisiä matkakombinaatioita. Mallinnuksen vaikeusaste kasvaa, kun mallinnuksessa on otettava huomioon toisistaan riippuvien matkan osavaiheiden ajoittuminen. Aktiviteettipohjaisissa malleissa myös aktiviteettien luonne ja niihin käytetty aika sekä mahdolliset vaihtoehtoiset aktiviteetit edellyttävät lähtötietoja myös itse toiminnoista eikä pelkästään siirtymistä toimintojen välillä.

### 3.5 Simulaatiomallit

Simulaatiomallit tai dynaamiset systeemimallit ovat periaatteessa paljon parempi tapa mallintaa todellisuutta kuin nykyisenlaiset lineaariset, esim. neliporrasmallit. Kun perinteinen liikennemalli tuottaa ennusteen haluttuun ajalliseen poikkileikkaukseen, dynaaminen systeemimalli näyttää, miten sinne ajan mukana päädyttiin. Lineaarisissa malleissa muuttujien oletetaan olevan toisistaan riippumattomia, mikä ei pidä täysin paikkaansa. Systeemimalleissa otetaan huomioon muuttujien väliset yhteydet ja vuorovaikutus.

Liikenteen mallintamisessa Monte Carlo -simuloinnilla voi olla lähtökohtana matemaattinen kysyntämalli, jonka kaikille muuttujille sovitaan todennäköiset vaihteluvälit ja jakaumat. Sen jälkeen annetaan muuttujien vaihdella sovittujen arvojen mukaisesti satoja tai tuhansia kertoja. Lopputuloksena saadaan ennustettavan suureen jakauma, esimerkiksi kuinka liikennesuorite todennäköisesti jakaantuu ennustevuotena.

Kun tavalliset liikenne-ennusteet antavat tuloksen 50/50 (ennuste on 50 % todennäköisyydellä ali tai yli), ennusteen käyttäjä tai päätöksentekijä voi valita jakaumasta minkä riskin haluaa ottaa, esimerkiksi 80/20-tason (ennuste on 80 % todennäköisyydellä alle valitun arvon ja 20 % todennäköisyydellä yli).

Menetelmä sopii erityisen hyvin moniulotteisille ongelmille, joiden lähtötietojen tiedetään olevan epätarkkoja. Eräs tunnetuimmista Monte Carlo -simulaatioiden sovelluksista on sääennusteissa käytetyt parviennusteet. Niissä samaa ilmakehämallia ajetaan hieman erilaisin lähtötiedoin samalle ennustusjaksolle kymmeniä, jopa satoja kertoja. Tällöin malliajojen tulosten hajonnasta voidaan tehdä johtopäätöksiä sääilmiöiden todennäköisyyksistä ja ennusteiden epävarmuudesta.

Myös Suomessa kehitetyssä Brutus-simulointimallissa hyödynnetään stokastista diskreettiä Monte Carlo -simulointia. Siinä liikkumisen hyötyä kuvaavia estimoituja funktioita sovelletaan stokastisesti valintatodennäköisyyksinä kuvaamaan yksilöiden päätöksentekotilanteita. Tois-  
tamalla simuloituja stokastisia päätöksiä miljoonia kertoja on voitu muodostaa liikkumisen kokonaiskuva tavalla, joka vastaa simuloitaessa käytettyjä referenssijakaumia ja hyötyfunktioita. Erona aiemmin käytettyihin malleihin Brutus käsittelee tilastoaluekohtaisten keskiarvojen sijaan yksilöitä, yksittäisten matkojen sijaan matkaketjuja ja laajojen tilastoalueiden tai kuntajaon sijaan 250 tai 1 000 metrin ruudukkoa. Brutus-malli jakautuu suuntautumismalliin ja kulkutavan valintamalliin. Suuntautumismallissa luodaan matkaketjuja kulkutavoittain valitsemalla matkakohteita yksitellen ja kulkutavan valintamallissa tehdään valintoja näiden eri kulkutavoilla luotujen matkaketjujen välillä. Vahvuutena on erityisesti kävely- ja pyöräilymatkojen mallintaminen osana kulkutavan valintaa. (HSL 2012, Moilanen et al. 2014b)

## 4. Liikenne-ennusteiden muuttuvat tarpeet ja vaatimukset

### 4.1 Toimintaympäristön muutokset tulevaisuuden liikennejärjestelmä

Tulevaisuuden toimintaympäristö ja sen liikennejärjestelmä on erilainen kuin nykyinen. Voidaan kuitenkin olettaa, että liikenneväylät -ja infrastruktuuri, joihin on sitoutunut paljon pääomaa, ovat jossakin muodossa edelleen käytössä tulevaisuudessa. Teitä pitkin liikutaan edelleen ja tavaroita kuljetetaan.

Liikkumistarpeisiin ja -tottumuksiin vaikuttavia megatrendejä ovat muun muassa kaupungistuminen, ajankäytön ja liikkumistottumusten muutokset, demografiset muutokset ja muuttoliike, ajoneuvotekniikan ja käyttövoimien muutokset, muutokset ajoneuvojen omistamisessa ja käyttötavoissa (kuva 9). Liikenne-ennusteiden haasteena on ennakoida, kuinka suuren osan uudet kulku-, matkustus- ja kommunikointitavat valtaavat nykyisiltä toimintatavoilta.



Kuva 9. Liikkumistarpeisiin vaikuttavia globaaleja megatrendejä. (Frost & Sullivan 2015)

#### 4.1.1 Kaupungistuminen

Yhteiskuntien kaupungistuminen on yleismaailmallinen ilmiö. Suomessa kaupungeissa ja niiden kehysalueella asuvien osuus väestöstä on kasvanut viimeisen 35 vuoden aikana 61 prosentista 70 prosenttiin. Muissa Euroopan maissa kaupungistumiskehitys on edennyt Suomea pidemmälle. Kaupungistuminen on viime vuosikymmeninä muuttunut yhä selvemmin vain suurimpien kaupunkiseutujen kasvuksi. Keskisuuret keskukset ovat säilyttäneet kehityksessä asemansa, mutta monet pienemmät seudut ovat vähitellen muuttuneet väestöltään väheneviksi. Muuttoliike on tärkeä aluerakenteen muutosilmiö, jonka taustalla on monta tekijää. Elinkeinorakenteen muutos vaikuttaa suoraan myös kaupungistumiskehitykseen.

Monipuoliset, koulutusta ja asiantuntijatyötä tarjoavat alueet keräävät muuttajia. Kasvun myötä syntyy uusia työpaikkoja palvelualoille. Laaja-alaista korkeakoulutusta tarjoavat keskuksat menestyvät, kun koulutusta ja erityisosaamista vaativat työpaikat lisääntyvät.

Maan sisäinen muuttoliike on pitkään suuntautunut ensisijaisesti kaupunkiseuduille. Suurimman muuttovoiton ovat koonneet suurimmat kaupunkiseudut ja Etelä-Suomen laajat kasvuvyöhykkeet. Nuorten aikuisten ikäluokat ovat suurin muuttajien ryhmä. Huomattava osa opiskelun tai työelämän aloittavista nuorista aikuisista muuttaa nimenomaan suurimpiin kaupunkeihin.

Tilastokeskuksen trendiennusteen mukaan kaupungistuminen jatkuu samankaltaisena myös tulevaisuudessa. Vuonna 2050 noin puolet suomalaisista asuu neljässä suurimmassa seutukunnassa ja varsinkin metropolialueen kasvu jatkuu nopeana. Kehitys on seurausta globaalista verkottumisesta ja kaupunkien roolin kasvusta. Muiden suurimpien kaupunkiseutujen kasvu rakentuu jatkossa yhä enemmän luonnollisen väestönkasvun ja maahanmuuton varaan. Keskisuurten kaupunkiseutujen kehitys riippuu tulevaisuudessa erityisesti palvelujen, kuten korkeakoulujen ja julkisten erikoispalvelujen, sijoittumisesta sekä elinvoimaisen yritystoiminnan ja monipuolisen elinkeinorakenteen kehittymisestä. (Rissanen et al. 2013)

Maahanmuutolla on yhä suurempi vaikutus väestörakenteeseen. Maahanmuuttajien määrä on kasvanut nopeasti 2000-luvulla ja määrän on ennakoitu kasvavan. Maahanmuutto tuo uusia asukkaita ja työntekijöitä myös väestötappioalueille. Pääosa maahanmuutosta suuntautuu kaupunkiseuduille ja erityisesti koulutetut maahanmuuttajat asettuvat suurimpiin keskuksiin. Pakolaiset tuovat oman lisänsä väestöön. (Rissanen et al. 2013)

Kaupungistumiseen vaikuttavat monet erilaiset syyt. Bettencourtin ym. (2007) mukaan kaupunki on paikan asemasta ihmisten ja toimintojen verkko, yhteydet määrittelevät kaupungin. Kaupungeilla on ambivalentti luonne: ne ovat samaan aikaan hyvinvoinnin ja kehityksen kehoja ja toisaalta ne tuottavat kielteisiä seurausvaikutuksia kuten rikollisuutta ja päästöjä. Bettencourt ym. (2007) ovat löytäneet kaupunkien tilastotietoja analysoimalla yksinkertaisia riippuvuuksia. Kun kaupungin koko kaksinkertaistuu, infrastruktuuria (kadut, muut verkostot) tarvitaankin vain 0,8 kertaa asukasta kohti (skaalaetu). Toisaalta kaupungin koon kaksinkertaistuminen tuottaa 1,2 kertaa enemmän asukasta kohti tuloja ja patenteja (innovaatioita), mutta samalla kertoimella myös ilman epäpuhtaudet ja rikollisuus kasvavat. (Bettencourt et al. 2007)

Kaupungistuminen jatkuu kasvukaupungeissa, jotka tarjoavat uusia yhteyksiä (kohtaamisia), ideoita, mahdollisuuksia ja hyvinvointia. Keskuskaupunkien muuttovoitosta hyötyvät myös niiden ympäryskunnat. Suurimpien kaupunkien kehysalueen alakeskukset kasvavat ja vastaavat kooltaan pieniä kaupunkikeskuksia. Muuttoliike näkyy myös yhdyskuntarakenteen sisällä, jossa se on kasvattanut kaupunkien reuna- ja lievealueita. Viime vuosina suurimmilla kaupunkiseuduilla myös kaupunkikeskustat ja perinteiset lähiöt ovat kasvattaneet suosiotaan asuinympäristöinä.

Kaupunkiseutujen työssäkäynti- ja asiointialueet ovat laajentuneet. Lisääntynyt liikkuminen on vähentänyt väestönkasvua kaupungeissa ja lisännyt sitä kaupungeja ympäröivillä alueilla. Lähes 90 prosenttia suomalaisista asuu kaupunkikeskusten toiminnallisilla alueilla. Tulevaisuudessa toiminnalliset alueet laajenevat edelleen, kun osa kaupunkien vaikutusalueen ulkopuolisista pienistä keskuksista linkittyy aiempaa tiiviimmin suuriin keskuksiin. Toiminnallisten alueiden kehitys eriytyy pienempien kaupunkien suhteellisen vetovoiman heikentyessä. Lisäksi väestönkasvua suuntautuu suurempien kaupunkien yhdistävien liikenneväylien ympärille muodostuville kehityskäytävillä.

Metropolialue levittäytyy yhä laajemmalle alueelle ja muuttuu monikeskuksisemmaksi. Metropolialueen työssäkäyntialue laajenee lähialueen suurimpiin kaupunkeihin asti. Pääosa Etelä-Suomesta on metropolialueen vaikutuspiirissä samalla kun pääkaupunkiseudun rooli metropolialueen keskuksena säilyy vahvana.

Taulukko 1. Kaupungistuminen megatrendinä. (Rissanen et al. 2013)

Ilmiö	Ilmiön kuvaus	Merkitys liikennejärjestelmälle
<b>Keskittyminen kasvukeskuksiin säilyy nopeana</b>	Väestönkasvu sekä yritystoiminnan mittakaava- ja kasautumisedut edesauttavat uusien työpaikkojen syntyä. Opiskelu- ja työpaikkatarjonta tuovat muuttoliikettä kasvukeskuksiin joka puolelta Suomea sekä ulkomailta.	Kasvukeskusten merkitys pääliikenneväylien solmukohtina korostuu. Liikennemäärät kasvavat keskusten välillä.
<b>Kaupunkiseutujen vaikutusalue ulottuu yhä kauemmas</b>	Kaupunkien työssäkäynti-, asiointi- ja asuntomarkkina-alueet laajenevat. Erikoistuneet palvelut keskittyvät kaupunkeihin.	Seudullinen liikenne lisääntyy ja kuormittaa yhä enemmän maantieverkkoa. Matkaketjujen kehittäminen ja seudullisen joukkoliikenteen järjestäminen on entistä vaikeampaa.
<b>Metropolialue laajenee edelleen</b>	Toiminnallisesti yhä laajemmalle leviävä Helsingin seutu on Suomen tasolla suurin muuttovoiton kerääjä.	Liikenneverkko jäsentyy yhä enemmän metropolikeskeisesti. Metropolialueella on suuri merkitys koko maan kansainvälisissä liikenneyhteyksissä.
<b>Seutukuntien pikkukaupunkikeskukset etsivät uusia vahvuuksia</b>	Teollisuuden rakennemuutos koettelee pikkukaupunkeja, jotka eivät ole pystyneet laajasti hyötymään palvelualojen kasvusta.	Seutukeskusten asema nojaa sekä yhteyksiin muihin keskuksiin että seudun sisäisen, kokoavan liikenteen toimivuuteen.
<b>Maaseudun keskukset pyrkivät säilyttämään elinvoimaisuutensa</b>	Maaseudun keskukset ovat menettäneet työpaikkoja ja palveluja, mutta pyrkivät pitämään kiinni peruspalveluista. Maaseudun taajamat vetoavat rauhallisella elinympäristöllään.	Joukkoliikenteen runkoyhteydet suurempiin seutu- ja maakuntakeskuksiin sekä toimivat matkaketjut ovat tärkeitä maaseutukeskuksille.
<b>Maaseutualueiden kehitys riippuu saavutettavuudesta ja yhteyksistä</b>	Kaupunkien kehysalue ja muu kaupunkien lähellä sijaitseva maaseutu hyötyvät kaupunkien kasvusta, mutta kauempana maaseudulla asukasmäärä vähenee.	Maaseudulla tarvitaan teiden kunnossapitoa ja nopeita tietoliikenneyhteyksiä. Kaupunkien kehysalueella ja läheisellä maaseudulla syntyy tarvetta myös uusille liikenneinvestoinneille.
<b>Kaupunkikulttuuri kehittyy</b>	Kaupunkiorganisaatio, kaupungin eri toimijat ja kaikki kaupunkilaiset synnyttävät yhä enemmän erilaisia sosiaalisia verkostoja, aktiviteetteja ja tapahtumia, joita kaupunkitilan käyttö ja viestintä tukevat.	Kaupunkikulttuurin kehittyminen voi vähentää kaupunkilaisten liikkumista muualle, mutta houkuttelee toisaalta vierailijoita ja matkailijoita kaupunkiin.
<b>Sosiaalinen eriarvoistuminen kaupunkien haasteena</b>	Kaupungit kokoavat yhteen hyvin toimeen tulevia ja huono-osaisia. Kaupunginosat erilaistuvat sosiaalisesti.	Joukkoliikennetarjonta vähentää sosiaalista eriarvoisuutta.
<b>Yhdyskuntarakenteen toimivuuden ja asuinympäristön laadun merkitys kaupunkien vahvuustekijöinä kasvaa</b>	Kaupunkien aluerakenteellisten yhteyksien perustana on yhdyskuntarakenteen toimivuus. Sujuva arki ja hyvä elinympäristö toimivat kaupunkien vetovoimatekijöinä.	Yhdyskuntarakenne toimivien aluerakenteellisten yhteyksien pohjana edellyttää seudun sisäisen liikenteen ja seutujen välisen liikenteen liittymistä saumattomasti yhteen.

**Kuntien yhdistyminen muuttaa kaupunkien asemaa**

Kunnista muodostuu yhä enemmän toiminnallisen seudun kokoisia kokonaisuuksia, joissa tarkastellaan seudun maankäyttöön, asumiseen, liikenteeseen, palveluihin ja elinkeinoihin liittyviä kysymyksiä.

Seutujen julkinen liikenne muuttuu entistä enemmän kaupunkien sisäiseksi liikenteeksi. Kaupunkiseudut toimivat aiempaa yhtenäisemmin liikennehankkeiden edistämiseksi. Tämä tuo etuja suurilla kaupunkiseuduilla.

**Kaupunkien ja maaseudun vuorovaikutus säilyy tiiviinä ja saa uusia muotoja**

Kaupunkikeskukset elävät vuorovaikutuksessa maaseutualueiden kanssa niin työssäkäynnin, asioinnin, lähiruuan ja -energian tuotannon kuin luonnon virkistyskäytönkin osalta

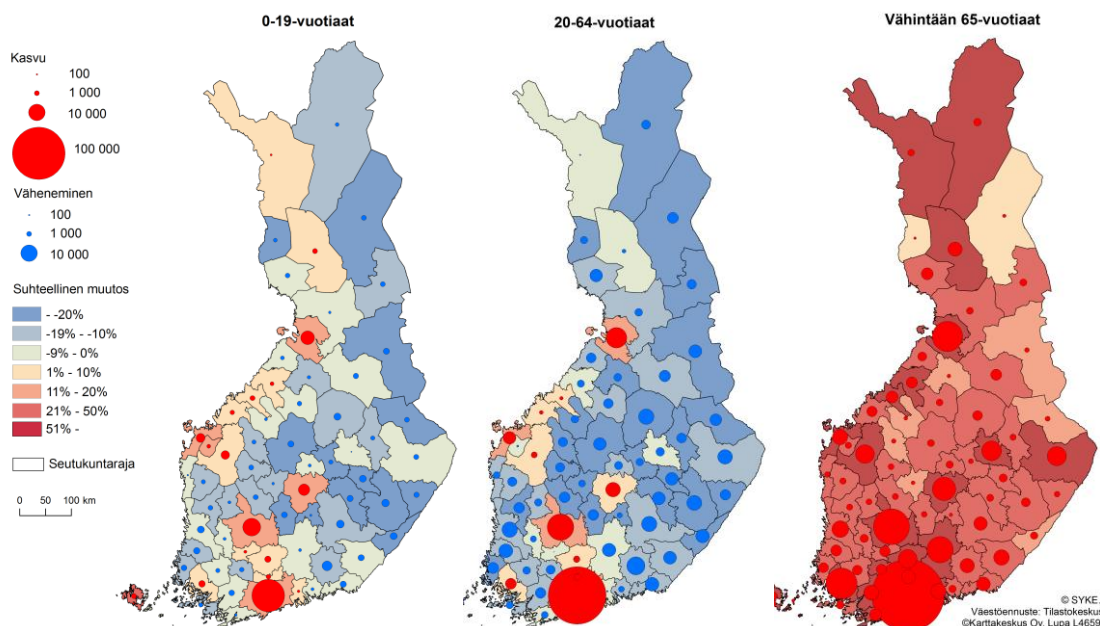
Kuljetuskustannusten ja energian hinnan nousu lisää lähiruuan, lähien energian lähteiden ja lähivirkistystyksen kysyntää. Vuorovaikutus korostaa liikenneyhteyksien ja tietoverkkojen toimivuutta.

Kaupungistumisen on nähty lisäävän henkilöautosuoritetta, jos kaupunkiseudun kasvu kohdentuu ensisijaisesti lievealueille ja kaupunkiseudun vaikutusalue kasvaa. Toisaalta on arvioitu, että kaupungistuminen mahdollistaa joukkoliikenteen, jalankulun ja pyöräilyn kannalta hyvän liikennemuotokseen ja henkilöautoilun hinnoittelumallit, jotka voivat myös vähentää olennaisesti henkilöautoliikenteen kysyntää (Metz 2013).

Kaupunkiseutujen kasvaessa ja toisaalta käytettävissä olevien lähtötietojen kehittyessä myös liikenne- ja maankäyttömallien kehittämiselle on suuria tarpeita (Wegener 2013). Liikenne- ja maankäyttömallit tarjoavat hyviä mahdollisuuksia myös matkojen korvautumisen mallintamiseen.

#### 4.1.2 Demografiset muutokset ja kotitalousrakenteen muutokset.

Ikärakenteen meneillään oleva muutos lisää erityisesti yli 65-vuotiaiden osuutta väestöstä. Työikäisen väestön absoluuttinen osuus ei juurikaan vähene, mutta suhteellinen osuus pienenee. Samaan aikaan kotitalouden keskikoko pienenee. Seutujen väestön muutokset koostuvat luonnollisesta väestönmuutoksesta (syntyvyys ja kuolleisuus), kuntien välisestä muuttoliikkeestä ja maahanmuutosta (kuva 10).



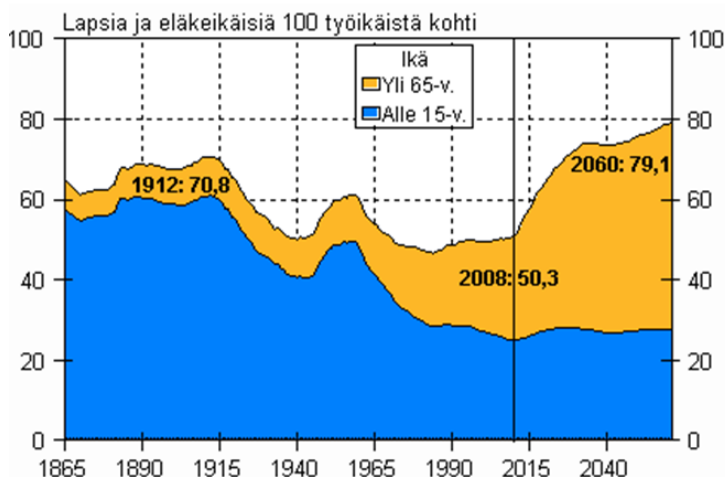
Kuva 10. Ikärakenteen kehitys väestöennusteen mukaan seutukunnittain 2011–2040.



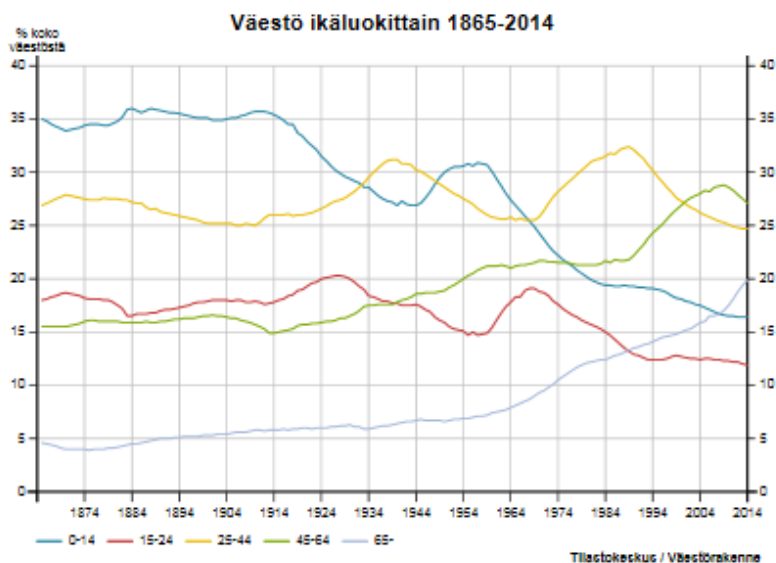
Väestön demografiset muutokset ovat alueellisesti epätasapainoisia ja väestön ikääntymisen on arvioitu vaikuttavan huomattavasti Suomen aluerakenteeseen tulevana vuosikymmeninä. Lasten, nuorten ja työikäisten määrä kasvaa merkittävästi vain suurimmilla kaupunkiseuduilla ja kaupunkien läheisellä maaseudulla – eläkeikäisten määrä sen sijaan kasvaa kaikilla seuduilla. Huoltosuhde (kuva 11) heikkenee ja julkisten palvelujen rahoittaminen vaikeutuu. Joillakin alueilla ja toimialoilla voi esiintyä työvoimapulaa.

Yli 65-vuotiaiden määrän ennakoitaan kasvavan nykyisestä noin miljoonasta lähes 1,6 miljoonaan vuoteen 2040 mennessä. Muutos on suurin suurimmilla kaupunkiseuduilla, mutta ikääntyneiden osuus koko väestöstä on suurin pienissä seutukunnissa. Hyvin iäkkäiden lukumäärän kasvu lisää työvoimatarvetta hoiva-alalla ja muilla palvelualoilla. Iäkkäiden matka- ja kommunikaatiotarpeet ovat erilaisia aktiiviväestöön verrattuna. Toisaalta tulevaisuuden iäkkäät ovat aiempaa paremmin toimeentulevia ja parempikuntoisia, mikä lisää yksityisten palvelujen kysyntää.

Lasten ja nuorten ikäluokan koko kasvaa hieman, mutta vain pienessä osassa seutuja. Oppilaitosverkko ja koulutuslataarjonta seuraavat ikärakenteen muutoksia. Suurin osa toisen ja kolmannen asteen opintoihin siirtävistä ikäluokista asuu kaupungeissa tai muuttaa niihin.

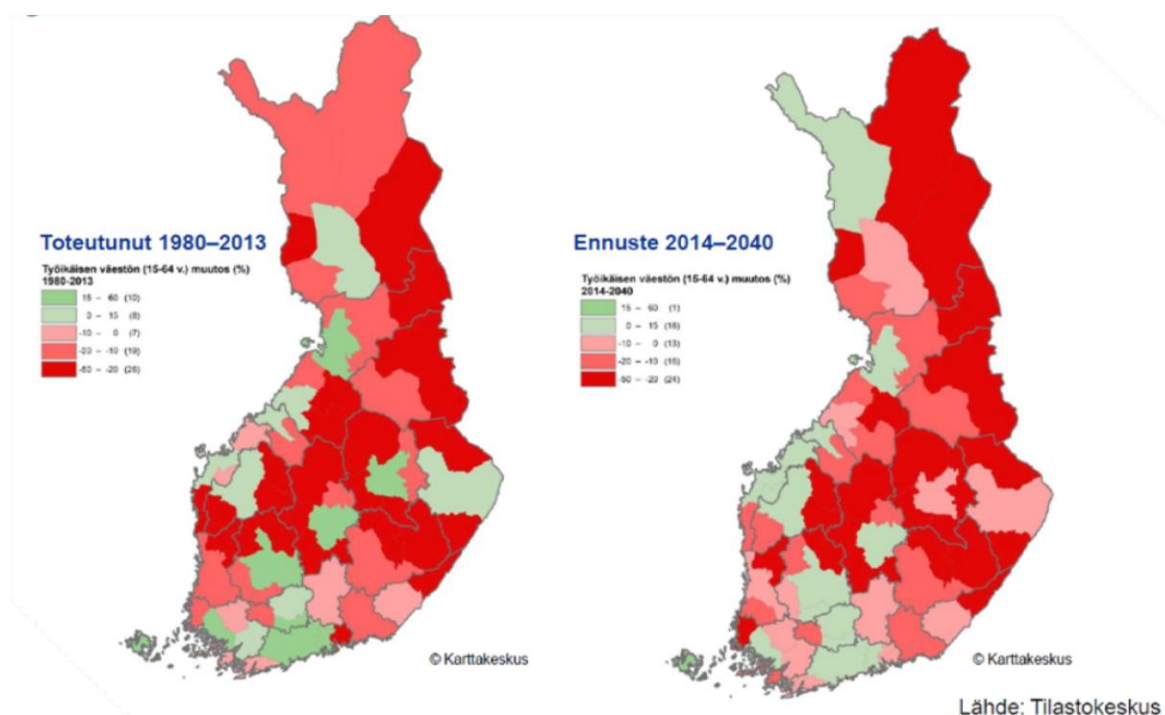


Kuva 11. Väestöllinen huoltosuhde 1865–2060. (Tilastokeskus)



Kuva 12. Väestön ikärakenteen historiallinen kehitys (Tilastokeskus).

Tarkasteltaessa työikäisten (15–64-vuotiaat) osuuden kehitystä Suomessa (kuva 13) havaitaan, että aktiivisimmat alueet ovat Helsinki-Tampere-Turku-kolmio ja Pohjanmaa Vaasasta Ouluun. On oletettavaa, että etenkin maaseutukunnissa väestö edelleen vanhenee ja vähenee. Liikennejärjestelmän ylläpidon ongelmaksi tulee toisaalla kasvavan väestön aiheuttama lisääntyvä liikenne ja toisaalla vastaavasti supistuvien alueiden infrastruktuurin ylläpito ja vähenevä liikenteen kysyntä. Sama ongelma koskee myös muita aktiviteetteja, kuten asumista, jossa alueellinen kysyntä ja tarjonta eivät aina kohtaa.



Kuva 13. Työikäisen väestön muutos vuosina 1980–2013 ja ennakoitu kehitys vuosina 2014–2040 (Tilastokeskus).

#### 4.1.3 Autojen omistamisen ja käyttötapojen muutokset

Jakamistalouden ja digitalisaation kehittymisen on ennakoitu muuttavan merkittävästi autojen omistamiseen ja käyttöön liittyviä palveluja sekä autonkäyttötapoja. Yhteiskäyttöisten autojen vuokraamiseen liittyvien palvelujen kehittämismahdollisuudet ovat suuret. Auto voidaan ottaa tällöin käyttöön aikaperusteisesti ja sen käyttöä voidaan joustavasti jatkaa tai lyhentää tarpeen mukaan. Euroopassa yhteiskäyttöisten autojen palvelujen käyttäjien määrä on kasvanut vuosina 2010–2013 noin 1,3 miljoonasta noin 3,3 miljoonaan. Käyttäjien määrän on ennakoitu kasvavan noin 26 miljoonaan vuoden 2020 mennessä. (Frost & Sullivan 2015)

Yhteiskäyttöisten autojen yleistymisen vaikutuksista autokantaan ja autonomistukseen on vielä melko vähän tietoa, koska käyttäjämäärä on pieni ja valikoitunut siten, että mukana on tyypillisesti paljon autottomia talouksia. Maailman suurimpiin yhteiskäyttöautoja tarjoavien yritysten joukkoon kuuluvan Zipcarin asiakaista noin 40 % on yhteiskäyttöisten autojen palvelujen käyttäjiksi siirryttyään luopunut omasta autostaan. Frost & Sullivanin kartoituksessa

arvioitiin, että jokainen yhteiskäyttöpalvelun auto korvaa 7–9 yksityisessä käytössä olevaa autoa. Yhteiskäytössä olevien autojen määrä on vielä pieni, mutta määrän kasvaessa miljoon ajoneuvoihin niiden merkitys alkaa näkyä erityisesti vähentyneenä pysäköintipaikkatarpeena. (Frost & Sullivan 2015)

Yhteiskäyttöisten autojen palvelujen käyttäjät ovat pääosin kuluttajia, mutta viime aikoina on tullut markkinoille yritysleasingpalveluja muistuttavia yhteiskäyttöpalveluja, jotka on suunnattu ensisijaisesti yrityksille. Yrityksille suunnattujen palvelujen määrän on ennakoitu kasvavan huomattavasti vuoteen 2020 mennessä. (Frost & Sullivan 2015)

Alueellisesti suurin potentiaali ajoneuvojen yhteiskäyttöisyyden yleistymiseen on Intiassa ja muissa ASEAN-maissa, Kiinassa sekä Itä-Aasian maissa, joissa alle neljännes kuluttajista pitää auton omistamista yhteiskäyttöisten auton käyttöä houkuttelevampana ominaisuutena. Pohjois-Amerikassa ja Länsi-Euroopassa 40–50 % kuluttajista vielä tällä hetkellä ajaa mieluummin itse omistamallaan kuin yhteiskäytössä olevalla autolla. Asenteet yhteiskäyttöisten autojen käyttöön osana liikkumistarpeita palvelevia joustavia liikennepalveluita on muuttunut nopeasti viime vuosien aikana. (KPMG 2016)

Yhteiskäyttöisten autojen vaikutukset liikenneväylien kapasiteettiin ja toimivuuteen riippuvat muun muassa siitä, millaiset haku- ja noutotoiminnot niihin liittyvät. Perinteisesti yhteiskäyttöautot noudetaan ja haetaan tietystä ennalta määritetystä paikasta, mikä sitoo käyttäjän maantieteellisesti rajatulle alueelle ja edellyttää usein liityntää auton haku- ja jättöpaikalle jollakin muulla kulkutavalla. Mikäli auton voi jättää kaupunkialueelle minne tahansa pysäköintipaikalle, auton nouto ja jättö helpottuvat huomattavasti ja yhteiskäyttöinen auto on selvemmin vaihtoehto oman auton omistamiselle. (Finkorn ja Müller 2011)

#### **4.1.4 Ajoneuvotekniikka**

Ajoneuvotekniikan tärkeimpiä megatrendejä ovat

- muuttuvat auton omistus- ja käyttötavat – uudet eri kulkutapojen ominaisuuksia ja mahdollisuuksia yhdistävät liikennepalvelut (Maas-palvelut)
- pienten ajoneuvojen kasvava kysyntä (A-segmentti ja sitä pienemmät ajoneuvot)
- uusiutuvat energianlähteet ja sähkö käyttövoimana
- digitalisaatio ja autonomiset autot

Autonomisten autojen on ennakoitu yleistyvän liikenteessä 25–30 vuoden aikajänteellä ajoneuvokannan uusiutuessa ja automatisaatiota tukevan infrastruktuurin kehittyessä. Automaattinen ajoneuvo toimii itsenäisesti mutta ei ole yhteydessä muihin ajoneuvoihin tai infrastruktuuriin. Ns. verkottunut ajoneuvo (connected vehicle) jakaa informaatiota muiden ajoneuvojen (V2V) kanssa tai infrastruktuurin (V2I) kanssa. Autonominen ajoneuvo on automaattinen ajoneuvo, joka jakaa informaatiota muiden ajoneuvojen (V2V) kanssa tai infrastruktuurin (V2I) kanssa.

Yhdysvalloissa autoalan standardisointiorganisaatio SAE (Society of Automotive engineering) on standardoinut automatisaation viitenä tasona standardissaan J3016 (kuva 14). Automatisaation tasolla 0 kuljettaja vastaa kaikista ohjaustoiminnoista. Automatisaation tasolla 1 ajoneuvossa on kuljettajaa avustavia laitteita. Myös osittaisen automaation tasolla (taso 2) kuljettajan rooli on vielä merkittävä, vaikka järjestelmä huolehtiikin jo osittain auton nopeudenhallinnasta ja ohjaamisesta. Tasoilla 3–5 järjestelmällä on kasvava vastuu ajoympäristön huomioimisesta ja dynaamisista ajotehtävistä. (SAE 2016)

Verkottuminen (connectivity) ja digitalisaatio ovat viime vuosina nousseet autoteollisuuden tärkeimmäksi muutostrendiksi. Autonomisten autojen ensimmäisenä kehitysaskeleena ne avaavat tietä automaattisen liikennejärjestelmän kehittämiselle. (KPMG 2016)

Autonomisten ajoneuvojen kehityksen on arvioitu parantavan merkittävästi liikenneturvallisuutta ja vähentävän liikenteen ympäristövaikutuksia. Autonomisten autojen yleistymisen on ennakoitu vievän vielä 20–30 vuotta, sillä niiden kehitys on vielä alussa ja testiympäristöstä monimutkaiseen liikenneympäristöön siirtyminen edellyttää monia infrastruktuuriin ja lainsäädäntöön liittyviä muutoksia. (Fagnant & Kockelman 2015)

**Summary of Levels of Driving Automation for On-Road Vehicles**

This table summarizes SAE International's levels of *driving* automation for on-road vehicles. Information Report J3016 provides full definitions for these levels and for the italicized terms used therein. The levels are descriptive rather than normative and technical rather than legal. Elements indicate minimum rather than maximum capabilities for each level. "System" refers to the driver assistance system, combination of driver assistance systems, or *automated driving system*, as appropriate.

The table also shows how SAE's levels definitively correspond to those developed by the Germany Federal Highway Research Institute (BASt) and approximately correspond to those described by the US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) in its "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles" of May 30, 2013.

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)	BASt level	NHTSA level
<b>Human driver monitors the driving environment</b>								
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>								
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes		

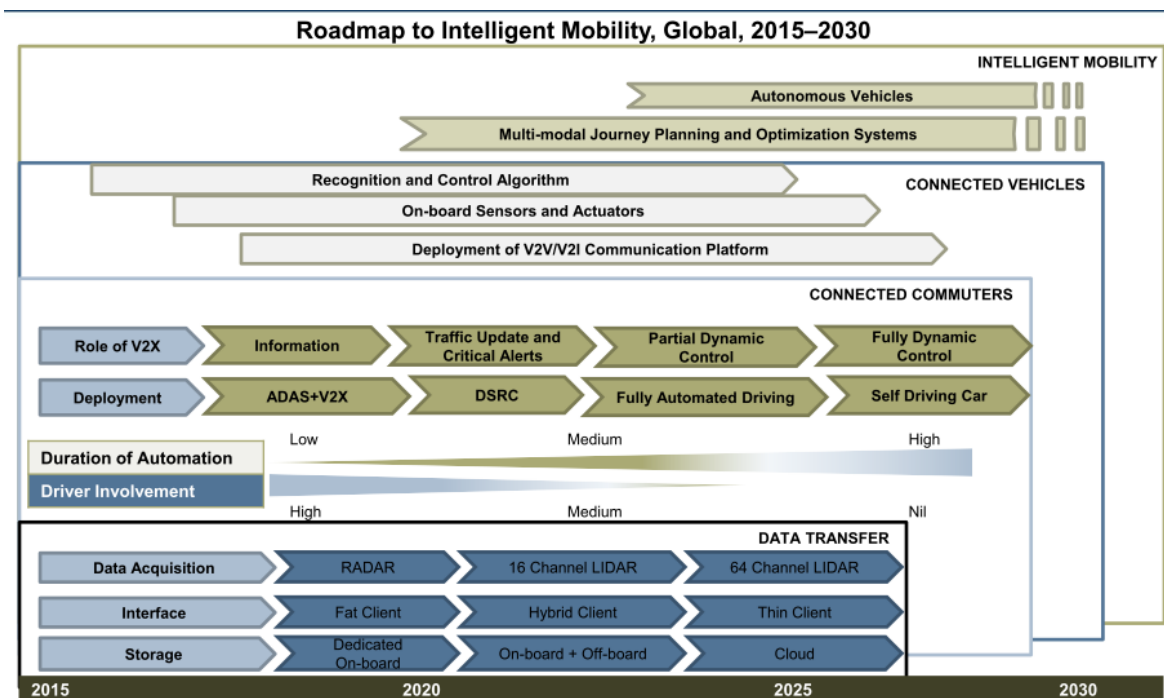
Kuva 14. Automaattisten autojen tasot 0–5 Yhdysvaltain standardissa (J3016). (SAE 2015)

Automaattisten ajoneuvojen yleistymisen etuina ovat lähinnä parantunut liikenneturvallisuus ja liikenteen häiriöherkkyyden väheneminen. Automaattisten ajoneuvojen yleistymisen vaikutusten väyläkapasiteettiin on arvioitu jäävän pieniksi. (Berg 2015)

Sen sijaan autonomisten ajoneuvojen yleistymisen on arvioitu lisäävän merkittävästi liikenneinfrastruktuurin kapasiteettia. Kirjallisuustutkimuslähteiden perusteella on vielä aikaista arvioida autonomisten ajoneuvojen aiheuttamaa liikennejärjestelmän muutostarvetta ja vaikutusta kaupunkisuunnitteluun. Autonomisten ajoneuvojen on ennakoitu lisäävän väyläkapasiteettia ensisijaisesti, koska ajoneuvojen raja-aikaväli pienenee liikenteen ollessa kokonaan automaattista. Jotta kapasiteetti kasvaisi väyläosuuksilla merkittävästi, raja-aikavälien tulisi lyhentyä nykyisestä noin 1,5 sekunnista 0,1 sekuntiin, mikä edellyttäisi ajoneuvojen ajamista letkassa (platoona). Automaatioasteen tulisi tällöin olla korkea ja ajoneuvojen tulisi olla täysin autonomisia. Simulointitutkimusten perusteella kaupunkiliikenteen kapasiteetti voisi autonomisessa liikenteessä kaksinkertaistua ja moottoriteillä kasvaa 1,7–2-kertaiseksi. Autonomisten ajoneuvojen vaikutukset ovat saavutettavissa vasta, kun liikenteessä ei ole enää kuljettajan manuaalisesti ohjaamia ajoneuvoja. Jos ajoneuvojen omistaminen ja käyttötavat säilyvät nykyisenkaltaisina, kapasiteetin kasvu lisäisi merkittävästi ajoneuvokannan kokoa ja pysä-

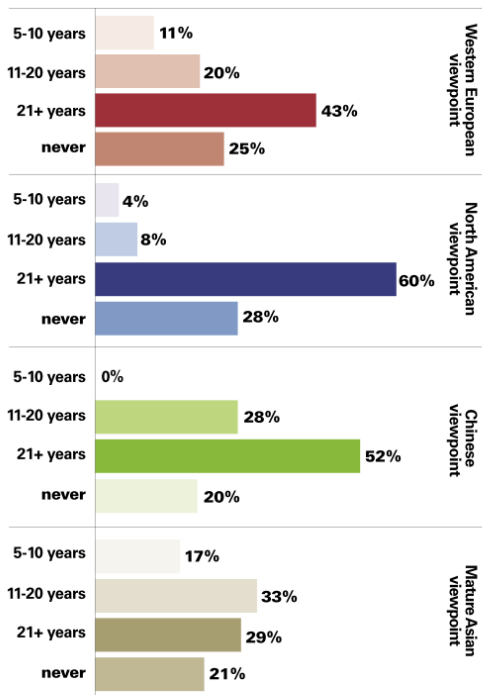
köintitarvetta. Jos sen sijaan erityyppiset jakamistalouden kehityksen kannustamat ajoneuvojen yhteiskäyttöpalvelut yleistyvät, ajoneuvokannan koko ja pysäköintipaikkojen tarve vähenyvät. (Berg 2015)

Toisaalta, vaikka yhteiskäyttöiset autonomiset ajoneuvot pienentävät pysäköintitarvetta ja ajoneuvokannan kokoa, niiden on mallinnuksessa ennakoitu lisäävän liikennesuoritetta, koska niiden kilpailukykyinen matka-aika lisää saavutettavuutta ja siten henkilöautoliikenteen kysyntää. Autonominen yhteiskäytössä oleva ajoneuvo joutuu hakemaan kyydin ja kyydin jälkeen odottamaan seuraavaa kyytiä kysynnän kannalta optimaalisessa paikassa. Tämä lisää myös suoritetta verrattuna yksityisiin henkilöautoihin. Kokonaisliikennesuoritteen kasvassa osa kapasiteetin kasvun myötä saaduista hyödyistä menetetään. (Fagnant & Kockelman 2014).



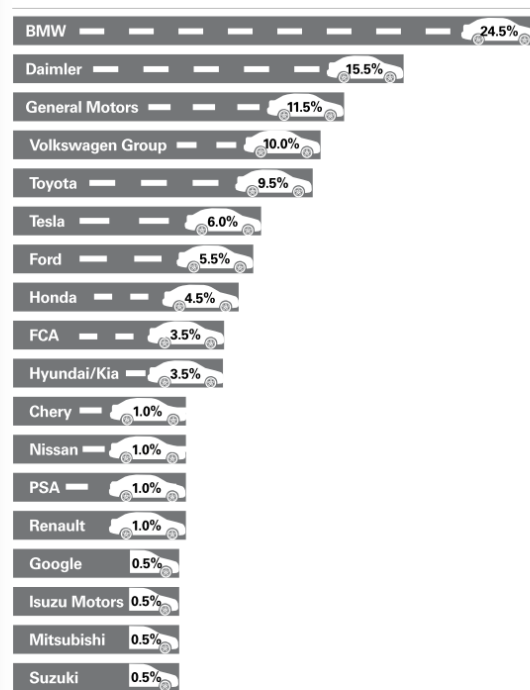
Kuva 15. Älykkään liikenteen globaali tiekartta 2015–2030. (Frost & Sullivan 2015)

### Autonomous driving's breakthrough is further away, according to auto executives



Note: Percentages may not add up to 100 due to rounding  
Source: KPMG's Global Automotive Executive Survey 2015

### Global OEMs seen as leading in the field of connectivity and self-driving cars



Note: Industry players ranked #1 according to respondents, sorted in descending order  
Note: Percentages may not add up to 100 due to rounding  
Source: KPMG's Global Automotive Executive Survey 2015

Kuva 16. Arvioita autonomisten autojen yleistymisestä ja auton valmistajista, joiden arvioidaan olevan autonomisten autojen tärkeimpiä innovaattoreita. (KPMG 2015).

Nieuwenhuijsenin (2015) mukaan yhteiskäyttöautojen osuus voi vuoteen 2020 mennessä kasvaa noin 10 %:iin kaikista kotitalouksien ajoneuvoista. Nieuwenhuijsen on selvittänyt automaattisten autojen markkinoille tuloa dynaamisella simulaatiomallilla, jossa ajoneuvojen automaatio on jaettu kuuteen tasoon. Perusmallin mukaan ehdollisen automaation ajoneuvot dominoivat markkinoita vuoteen 2040 mennessä. Täysin automatisoitujen autojen markkinoille tulo on hitaampaa. Jos kehitystä tuetaan (tietojen jakaminen ja teollisuuden yhteisprojektit), täysin automatisoituja ajoneuvoja alkaa tulla markkinoille vuosina 2025–2030. Vuonna 2030 osittain tai ehdollisesti automatisoidut ajoneuvot dominoivat markkinoita (60 %). Täysin automatisoitujen ajoneuvojen markkinaosuus on vuonna 2050 75 %.

Schoettlen (2015) analyyttisen mallin mukaisesti autojen ajosuorite voisi autonomisten ajoneuvojen yleistyessä kasvaa Yhdysvalloissa 18 000 kilometristä 33 000 kilometriin vuodessa. Kokonaisajosuoritteen on muissa tutkimuksissa ennakoita kasvavan 10 % (Fagnant & Kockelman 2014) ja 4–8 % (Gucwa 2014).

Fagnant (2014) on tutkinut täysin autonomisten ajoneuvojen tulevaisuutta ja niiden jakamismahdollisuuksia sekä ajoneuvon että matkan jakamisen näkökulmasta. Tutkimuksessa on arvioitu, että autonomisilla autoilla on Yhdysvaltojen taloudessa 37,7 mrd:n dollarin vuosittaiset hyötyvaikutukset jo 10 %:n markkinaosuudella. Hyödyt perustuvat liikenneturvallisuuden ja saavutettavuuden paranemiseen sekä pysäköintipaikkojen tarpeen vähenemiseen. Suomeen suhteutettuna hyödyt olisivat noin 0,5 mrd euroa. 90 %:n markkinaosuudella hyödyt olisivat Yhdysvalloissa 447 mrd vuodessa. Vastaavat muutokset Suomessa tarkoittaisivat 5–6 mrd euron hyötyä.



Kun autonomiset autot ovat yleistyneet riittävästi, lisämahdollisuuksia syntyy matkojen jakamisesta: autoa ei tarvitse omistaa, sen voi kutsua tarpeen mukaan ja se voi mennä itseksään odottamaan uutta kyytiä optimaaliseen paikkaan. Fagnant (2014) on tutkinut autonomisten autojen vaikutuksia Austinissa (Texas) simuloimalla. Hänen mallinsa mukaan jokainen autonominen yhteiskäyttöauto (Shared Automatic Vehicle) voisi korvata 10 tavallista autoa: tietyn oletuksen 1 715 autonomista yhteiskäyttöautoa voisi palvella 56 000 henkilömatkaa päivässä. Ajoneuvojen siirtyminen odottelupaikkaan odottamaan uusia matkoja lisää liikennesuoritetta 7–10 %, mutta liikennesuoritteen kasvua voidaan kompensoida, jos useampi matkustaja jakaa samaa ajoneuvoa.

Automaattiset ajoneuvot yhdistettynä matkojen jakamiseen vähentävät siten ajoneuvojen määrää kertaluokalla, mutta eivät matkoja (verrattuna konventionaalisiin ajoneuvoihin) ja suoritetta. Fagnant (2014) arvioi, että automaattiset ajoneuvot yhdistettynä matkojen jakamiseen ovat lupaava tapa tehostaa ja luoda kestäväää liikennejärjestelmää.

Pawlak ym. (2015) kuvasivat aktiviteettipohjaisella hyödyn maksimointiin perustuvalla liikennemallilla valintaa matkan tekemisen eri kulkutavoilla ja etäläsnäolon välillä. Mallissa otettiin huomioon myös mahdollisuus käyttää matka-aikaa erilaisiin aktiviteetteihin. Yksi mallinnettavista kulkutavoista oli autonominen auto. Malli perustuu aktiviteetin valintaan ja ajankäyttömalliin ja noudattaa ns. Winstonin teemakehystä, ajankäyttöteoriaa sekä Trainin and McFaddenin diskreettien valintamallien teoriaa. Mallin tulosten perusteella autonominen auto yhdisti matkustajan näkökulmasta henkilöauton hyvät ominaisuudet saavutettavuuden sekä matkan lähtöajan valinnan vapauden suhteen sekä joukkoliikenteen hyvät ominaisuudet matka-ajan hyödyntämisen näkökulmasta.

OECD:n (2015) tutkimuksessa ennakoitiin simulointimenetelmällä yhteiskäyttöisten autonominen autojen vaikutusta liikkumiseen ja liikennemääriin Lissabonissa. Tutkimuksen tulosten perusteella lähes samaan matkamäärään tarvittaisiin selvästi vähemmän ajoneuvoja, mutta samanaikaisesti autoliikenteen suorite kasvaisi. Tutkimuksessa liikennesuorite kasvaisi vain 6 %, jos samaan aikaan joukkoliikennejärjestelmää kehitetään. Ilman joukkoliikennejärjestelmän kehittämistä liikennesuorite kasvaisi lähes 90 %. (OECD 2015)

#### 4.1.5 Tietoliikenne- ja viestintäpalvelujen kehittyminen

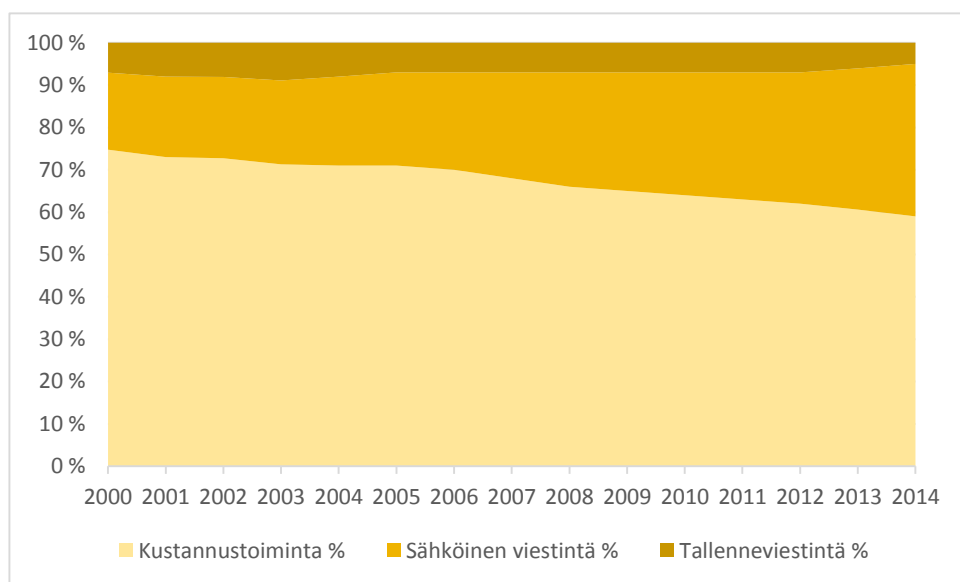
Ihmiset ja tavarat ovat liikkuneet yleensä fyysisiä verkkoja pitkin. Myös tieto, kuten sanomalehdet, kirjat ja posti ovat perinteisesti edellyttäneet fyysisiä verkkoja. Liikennejärjestelmän ylläpito on keskittynyt suurelta osin näihin verkkoihin. Tietoverkkoja (puhelin- ja kaapeliyhteydet) ovat käyttäneet puhelin, radio- ja TV sekä internet (kuva 17).

		Networks	
		Physical Networks	Digital Networks
Nouns	Things	[almost all focus has been here] Travel, Goods Delivery	3D printing
	Data	Mail, Books, Newspapers, CDs, DVDs	Streaming music or movies

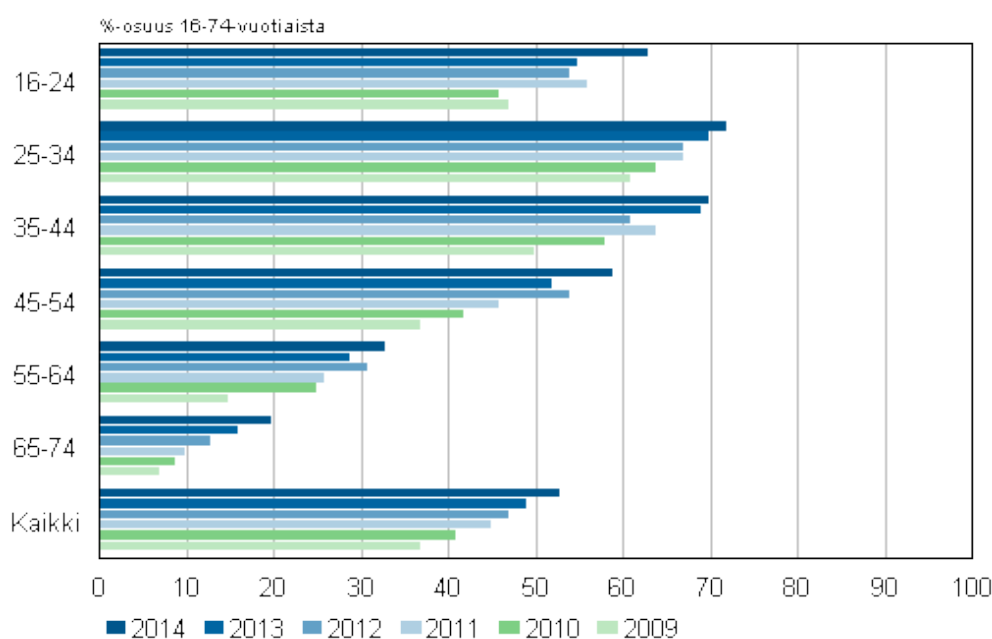
Kuva 17. Asioiden ja tiedon saavutettavuusmatriisi. (Levinson ja Krizek 2015)

Internetin kehittyessä langattomat tietoyhteydet ovat tulleet tärkeiksi ja niiden kehitys on vaikuttanut yhä nopeammin markkinoihin: CD ja DVD korvautuvat netistä ladattavilla tiedostoilla tai streamauksella ja 3D-tulostaminen vapauttaa tuotannon osin kuljettamisesta. Samalla mahdollisuus seurata ihmisten toimintaa ja sijaintia tuo uudenlaisia tietoturvaan ja yksityisyyden suojaan liittyviä kysymyksiä.

Autonomisen liikenteen lisäksi yksilöllisen liikenteen markkinoita muuttavat tietoliikenne ja virtuaalimatkat. Vaikka autonomiset autot eivät vähennä matkoja tai suoritetta sinänsä, tietoliikenteen kehittyminen voi vaikuttaa olennaisesti myös tarpeeseen tehdä fyysisiä matkoja.

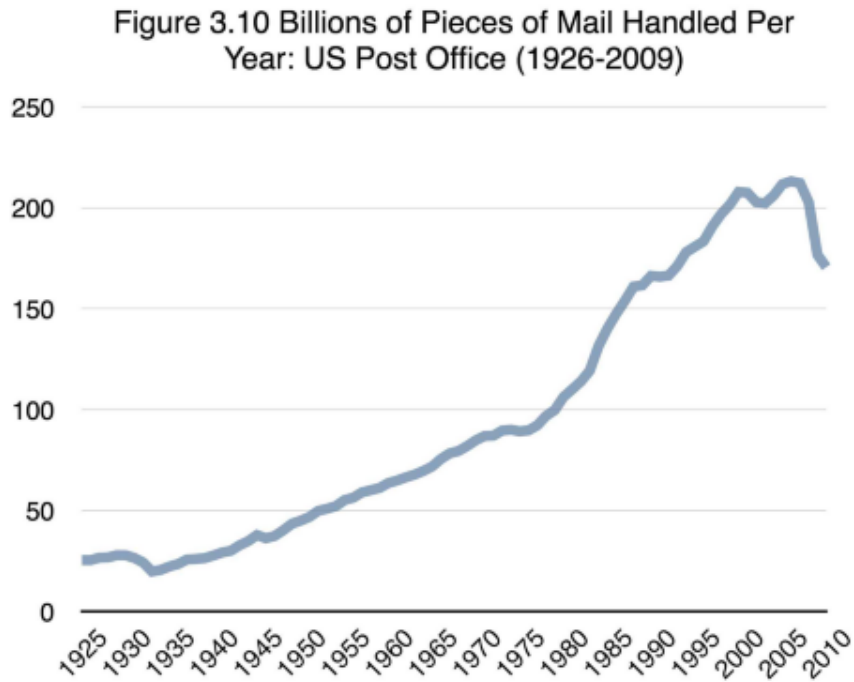


Kuva 18. Eri markkinasektoreiden osuudet joukkoviestinnästä Suomessa vuosina 2000–2014. (Tilastokeskus 2014a)

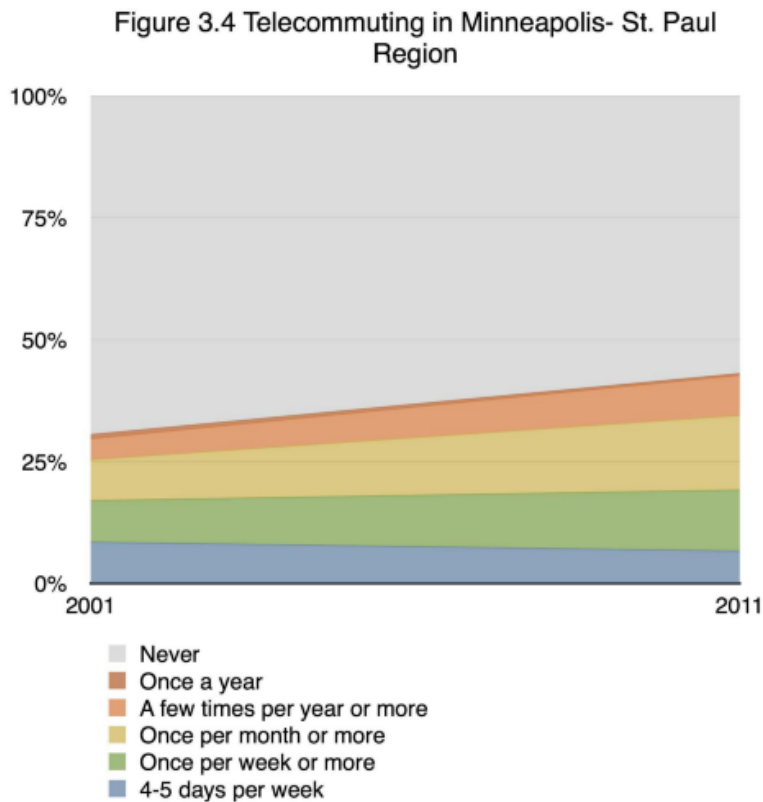


Kuva 19. Verkkoakaupasta 12 kuukauden aikana ostaneiden osuus iän mukaan 2009–2014. (Tilastokeskus 2014b)





Kuva 20. Vuotuiset postilähetykset (1000 milj. kpl/v) Yhdysvalloissa vuosina 1926–2009. (Le-



vinson ja Krizek 2015)

Kuva 21. Etätyön kehitys Minneapolis-St. Paulin seudulla vuosina 2001–2011. (Levinson ja Krizek 2015)

Etätyön osuutta ja kehitystä on tutkittu 10 vuoden aikana Minneapolis-St. Paulin seudulla (kuva 21). Etätyötä tekevien osuus (vähintään kerran vuodessa) on kasvanut noin 30 %:sta 45 %:iin eli lähes puolet työssäkäyvistä tekee ainakin yhden päivän vuodessa etätyötä. Kasvu on tullut lähes kokonaan ”etätöissä kerran kuussa tai useammin” tekevästä. Jos oletetaan, että suomalaiset käyttäytyvät samalla tavalla, voidaan todeta, että etätöissä voi käydä säännöllisesti noin viidennes työssäkäyvistä.

## 4.2 Lähtötietojen saatavuuden paraneminen

Liikenteen kysyntäennusteiden laatimisen lähtötiedot ovat monipuolistuneet huomattavasti viime vuosien aikana. Erilaiset koordinaattipohjaiset paikkatiedot ja reaaliaikaiset tiedot liikenteen kysynnästä ovat avanneet uusia big data -tyyppisiä aineistoja, jotka lisäävät huomattavasti mahdollisuuksia liikenteen kysyntämallien laatimiseen. Vielä toistaiseksi liikenneennustemalleissa hyödynnetään vain vähän koordinaattipohjaisia aikasarjatietoja liikenteen kysynnästä. Esimerkkejä näistä aineistoista ovat muun muassa matkakorttien ja matkapuhelimien seurantatiedot sekä dynaamiset liikennemäärätiedot. Uudet tietolähteet yhdistettynä aiempaa tarkempiin koordinaattipohjaisiin tietoihin asumisesta, työssäkäynnistä ja palvelujen sijainnista antavat mahdollisuuksia aiempaa luotettavampien ja ominaisuuksiltaan monipuolisempien mallien laatimiseen. Uusien tietoaineistojen parantunut saatavuus ja laatu mahdollistavat muun muassa matkaketjujen aiempaa tarkemman mallintamisen. (Toole et al. 2015)

Älykkäät ajoneuvot keräävät ajoreiteistä, matka-ajoista ja ajokilometreistä tietoa, jolla voidaan tulevaisuudessa parantaa liikennemallien tausta-aineistojen laatua. Toisiinsa ja infraan yhteydessä olevat ajoneuvot keräävät tietoa automaattisesti jo nyt, mutta tietoa ei tällä hetkellä ole tietosuojan ja omistusoikeuksien takia vielä voitu hyödyntää mallintamisen tai suunnittelun lähtöaineistona. Jo nykyisin osa autonvalmistajista saa osan älykkäiden ajoneuvojen keräämistä tiedoista käyttöönsä siten, että tietoa voidaan käyttää esimerkiksi vikatilojen monitoroinnissa ja huoltotoimenpiteiden ohjelmoinnissa. (Walker et al. 2015)

Big data -tietolähteet edellyttävät myös uudenlaisia tiedonkäsittelyn menetelmiä, koska ne koostuvat usein suuresta määrästä tietoa, ja mukana on usein myös virheellisiä havaintoja. Massiivisten tietoaineistojen hyödyntäminen edellyttää erilaisia data-analyytikan menetelmiä kuin perinteiset liikennetutkimusaineistot. Muun muassa tiedonlouhinnan menetelmiä on sovellettu liikenteen big data -tietoaineistojen käsittelyssä ja analysoinnissa.

Uudet laajemmat tietovarannot parantavat myös nykyisten liikennemallien laatua mahdollistaen esimerkiksi aiempaa tarkemman lähtö- ja määräpaikkamatriisin kalibroinnin sekä uudentyyppisten reitinvalinta-algoritmien laatimisen (Toole et al. 2015). Uusista tietolähteistä odotetaan mahdollisuuksia korvata perinteisiä henkilöliikennetutkimuksia tiedonkeruumenetelmänä, sillä perinteiset matkapäiväkirjamuotoiset tutkimukset ovat kalliita ja toteutukseltaan raskaita (Walker et al. 2015).

COST-tutkimusverkostona toteutettu Shanti-hankeessa on laadittu suosituksia henkilöliikennetutkimusten harmonisoimiseksi ja tiedonkeruumenetelmien kehittämiseksi. Suositusten mukaan liikennetutkimusaineistoissa tulisi vähitellen siirtyä paikannusperusteisten menetelmien käyttöön siten, että tiedonkeruuta tehdään siirtymävaiheessa rinnakkain myös perinteisillä matkapäiväkirjamuotoisilla tutkimuksilla. Perinteiset kyselytutkimuksen menetelmin kerättävät tietoaineistot ovat jatkossakin tärkeitä tietovarantoja, jotka voidaan parhaassa tapauksessa linkittää uudentyyppisiin big data -aineistoihin. Uusia teknologioita tulisi pilotoida

vanhojen tiedonkeruumenetelmien rinnalla ja erityisesti pitkämatkaisen liikenteen tiedonkeruuseen tulisi kiinnittää enemmän huomiota. (Kuhnimhof 2013)

Trafikverket (2016) nostaa omassa liikennemalleja ja vaikutusten arviointia koskevassa selvityksessään esille lähtötietojen tarkentamisen tarpeen, joihin tärkeinä perustietoina kuuluvat muun muassa tieosakohtaiset liikennemäärätiedot, matka-ajat sekä liikennesuorite. Erityisesti pitkämatkaisen autoliikenteen sekä juna- ja lentoliikenteen matkustajavirroista sekä tavavirroista tarvittaisiin liikenne-ennusteiden lähtötiedoiksi lisää tietoja. Toimintaympäristön muutosten mallintamisen on ennakoitu edellyttävän omaa malliprosessiaan.

Tietosuojaa koskeva lainsäädäntö rajoittaa tällä hetkellä paikannusmenetelmien ja matkakorttiaineistojen hyödyntämistä liikennemallien tausta-aineistona. Jos tieto on yhdistettävissä matkan tekijään ja hänen taustatietoihinsa, tietoa ei voi ilman kohdehenkilön lupaa taltioida tai jatkohyödyntää. Big datan hyödyntäminen edellyttäisi käyttäjien lupaa tai tietojen hyödyntämistä sellaisessa muodossa, jossa tiedoista ei voi päättelämällä tai muihin tietoaaineistoihin yhdistämällä selvittää yksittäisen kohdehenkilön tietoja. Tämä rajoittaa selvästi erityisesti koordinaattitasoisen tiedon käyttöä, sillä koordinaattitarkkuudella esitetyistä sijainneista on helposti tulkittavissa esimerkiksi kodin tai työpaikan sijaintitiedot ja vastaaja on helposti tätä kautta yksilöitävissä. Myös vapaaehtoinen liikkumistietojen luovuttaminen eri toimijoiden käyttöön on selvästi yleistynyt. Esimerkiksi monet autonvalmistajat tarjoavat asiakkailleen palvelua, jossa autosta siirtyy valmistajalle sijainti- ja ajosuoritetietoja. Yksilön tietosuojan kannalta olennaista on, että tietoihin ei voida yhdistää liikkujan henkilötietoja.

## 5. Kehittämisehdotukset

### 5.1 Nykyisten menetelmien kehittäminen

Hankearvioinnin kehittäminen ja muutostilassa oleva toimintaympäristö luovat uusia haasteita ja vaatimuksia liikennemallien kehittämiseksi. Suurin osa nykyisistä kysyntämalleista on ns. neliporrasmalleja, joissa matkojen määrää ja suuntautumista mallinnetaan tuotos-, kulkutapa-, suuntautumis- ja reitinvalintamalleilla. Neliporrasmalleissa alueen sosioekonomiset ominaisuudet ja sijainti aiheuttavat matka- tai kommunikaatiotarpeen, joka kohdistuu tarkastelualueen toisille osa-alueille tai sen ulkopuolelle. Matkatarve tyydytetään tarkoitukseen sopivimmalla tavalla (valitaan kommunikaatiotapa). Sen jälkeen matka voidaan sijoitella liikennejärjestelmässä kulkutavoittain.

Neliporrasmallin etuna on, että se on melko helposti sovellettavissa kaupunkiseutujen kysynnän mallintamisessa. Neliporrasmalleissa on paljon kehittämispotentiaalia tulevaisuuden tarpeisiin. Liikenteen kysynnän ennustamisen kannalta suurimmat kehittämismahdollisuudet liittyvät seuraaviin osatekijöihin:

- tuotosmallit

Matkatuotokset muuttuvat, jos ajankäyttötottumukset muuttuvat tai matkoja korvautuu parantuneiden tietoliikenneyhteyksien mahdollistamilla palveluilla. Erityisesti työasiointimatkojen, työmatkojen ja ostosmatkojen on tulevaisuudessa ennakoitu vähenevän erilaisten etäpalvelujen kehittyessä. Toisaalta pois jäävät matkat voivat korvautua muilla matkoilla, jos niihin kuluva aikaa voidaan hyödyntää johonkin toiseen aktiviteettiin, joka puolestaan edellyttää siirtymistä. Tuotosmallit ovat nykyisissä liikennemalleissa melko staattisia kategoria- tai regressiomalleilla mallinnettavia matkalukuja. Uusien tietoaineistojen mahdollistamilla lähtötiedoilla tuotosmalleja olisi mahdollista tuottaa aiempaa hienojakoisemmissa sosioekonomisissa ryhmissä sekä osin myös kotitalouskohtaisina. Matkojen korvautumista etäläsnäololla on mahdollista kuvata toisaalta tuotosmallien ja toisaalta suuntautumismallien avulla. Uudet koordinaattipohjaista tietoa sisältävät tietoaaineistot antavat mahdollisuuksia myös tuotosmallien parantamiseen, sillä niiden avulla matkan lähtö- ja määräpaikka voidaan aineistoja yhdistelemällä yhdistää myös aktiviteetin luonteeseen.

- suuntautumismallit

Suuntautumismalleissa uuden tietoaaineistot luovat mahdollisuuksia matkojen lähtö- ja määräpaikkojen entistä tarkempaan mallinnukseen. Paikkatietopohjaiset aineistot antavat monia mahdollisuuksia osa-aluejaon muodostamiseen siten, että aktiviteettipohjaiseen mallinnukseen tarvittavat toiminnot voidaan kuvata aiempaa tarkemmin. Uudet aineistot sisältävät aiempaa tarkempaa tietoa matkaketjuista, jolloin suuntautumisen mallintamisessa on mahdollista mallintaa yhden määräpaikan sijasta useampia peräkkäisiä määräpaikkoja.

- kulkutavan valintamallit

Kulkutavan valintamalleissa yhteiskäyttöisiä ajoneuvoja ja uusia liikennepalveluja voidaan kuvata ns. viidentenä kulkutapana. Perinteisen neliporrasmallin estimointi yhteiskäyttöautoille on haastavaa, koska vielä nykytilanteessa yhteiskäyttöisten autojen palveluja on tarjolla vain vähän ja uuden vielä harvinaisen kulkutavan mallinnukseen ei ole käytettävissä riittävästi lähtötietoja. Perinteisistä pääkulkutavan valintaa kuvaavista malleista olisikin suositeltavaa siirtyä kokonaisten matkaketjujen mallintamiseen, jolloin liityntäkulkutapojen ja toisistaan

riippuvien määränpääketjujen merkitys korostuu. Pitkämatkaisissa malleissa yhtenä haasteena on joukkoliikenteen dynaamisen hinnoittelun merkitys, jolloin hintaa kuvaava matkavastus vaihtelee eri kysyntäajanjaksoina ja sen mukaan, kuinka ajoissa ennen matkajankohtaa lippu hankitaan. Matkan hinnasta on dynaamisen hinnoittelun myötä tullut ajan ja kysynnän mukaan vaihtuva muuttuja.

- reitinvalintamallit

Reitinvalintamallien kehittämiseen suuria mahdollisuuksia antaa ajantasainen liikennetieto, joka kuvaa todellista reitinvalintaa (esimerkiksi Here-aineistot). Reitinvalinta-algoritmeja on mahdollista kehittää myös yhteiskäyttöautoille soveltuviksi siten, että voidaan kuvata sekoitettua liikennettä, jossa on sekä yhteiskäyttöisiä että yksittäisen kotitalouden käytössä olevia ajoneuvoja. Reitin valinnan mallinnuksessa liityntäkulkutapojen kuvaamisen haasteena on ollut vaihtojen kuvaaminen malliin.

## 5.2 Uudet mallinnusmenetelmät

Uudentyyppisinä liikenteen mallinnusmenetelminä esille ovat nousseet erityisesti aktiviteettipohjaiset mallit, jotka antavat perinteistä matkakohtaista mallintamista paremmat mahdollisuudet matkaketjujen käsittelyyn sekä suurten ajankäyttötottumuksissa tapahtuvien muutosten arviointiin. Niiden on arvioitu soveltuvan paremmin myös yksilöllisten asenteiden ja arvostusten kuvaamiseen kuin perinteisten neliporrasmallien (Tal ja Cohen-Blankshtain 2011).

Aktiviteettipohjaisista malleista on laadittu myös mikrosimulointiin pohjautuvia malleja, joiden avulla voidaan arvioida erityisesti autonomisten ajoneuvojen reitinvalintaa sekä mallintaa niiden vaikutusta ajoneuvoliikennejärjestelmän kapasiteettitarpeisiin sekä ympäristövaikutuksiin ja energiankulutukseen (mm. Fagnant ja Kockelman 2015, Ciari 2010, Firkorn ja Müller 2011)

Aktiviteettipohjaisten liikennemallien on yleisesti ennakoitu soveltuvan parhaiten tulevaisuuden skenaarioiden ennakkointiin ja autonomisten autojen kysynnän ja vaikutusten arviointiin. Moniagenttimalli MATSim mallintaa tulevaa autokantaa, kysyntää sekä vuorovaikutusta joukkoliikenteen ja autonomisten autojen välillä. (Mallig et al. 2013)

## 5.3 Menetelmien kehittämistarpeet

Tässä selvityksessä esille nostettujen menetelmien kehittämistarpeiden päähuomio on henkilöliikenteessä. Lisätutkimusta ja mallinnusta tarvitaan sen selvittämiseen, miten liikenteen ja logistiikan kysyntä tulevaisuudessa muuttuu yhä nopeammin muuttuvan toimintaympäristön mukana. Muun muassa digitalisaation mahdollistamat etätoiminnot muuttavat tapaa ja tarvetta liikkua ja kuljettaa. Matkojen korvautuvuudesta on vielä toistaiseksi käytettävissä vain vähän aikasarjoihin perustuvaa tietoa, joten ennakkoinnissa ei ole mahdollista hyödyntää perinteisiä ennustemenetelmiä. Liikennemallin ja -ennusteen tulisi olla mahdollisimman yksinkertaisia.

Liikenneviraston hankearviointiohjeissa suositeltavat ennustemallit ovat kasvukertoimiin pohjautuvia ("suppeat ja supistetut hankkeet"), seudullisia tieverkkotarkasteluja tai liikennemalleja ("Laaja hanke"). Liikennejärjestelmää koskevan toimintaympäristön muutosten ollessa suuria myös pienempiin hankkeisiin tulisi sisällyttää kokonaisnäkökulma. Näin ollen esimerkiksi kasvukerroinmenetelmissäkin tulisi pyrkiä kuvaamaan toimintaympäristössä tapahtuvia

muutoksia. Jo nykyisinkin tieliikenteen valtakunnallinen ennuste on viety hanketasolle IVAR-ohjelmiston kautta.

Ruotsissa Trafikverket on nostanut liikenne-ennusteiden kehittämiskohdiksi aktiviteettipohjaisten mallien kehittämisen. Aktiviteettipohjaiset kysyntämallien on arvioitu reagoivan perinteisiä neliporrasmalleja paremmin muun muassa matka-aikojen, kustannusten ja maankäytön muutoksiin. Kehittämiskohteeksi on nostettu myös useampien ennustevuosien kysynnän laskenta, jotta vaikutusten arvioinnin pohjaksi saataisiin laajempi kuva kysynnän kehittymisestä tulevien vuosikymmenten aikana. (Trafikverket 2016)

Hanke-ennusteiden tulisi tulevaisuudessa olla linjassa valtakunnan strategisen liikennemallin kanssa, jossa tulisi varmistua, että samaa liikennettä ei saa käyttää usean eri hankkeen perustelemiseen. Hankkeet voivat kokonaisuutena olla periaatteessa

a) itsenäisiä – hanke voidaan toteuttaa vaikuttamatta toisten hankkeiden hyötyihin

b) kilpailevia – hanke vaikuttaa kilpailevien hankkeiden hyötyihin

c) toisiaan täydentäviä, komplementaarisia – hyödyt kasvavat toteuttamalla isompi hankekokonaisuus

Perinteiset nyky- tai historiatiedoilla estimoidut gravitaatio- tai neliporrasmallit ennustavat todennäköisesti huonosti tulevaisuuden liikennekysyntää. Tulevaisuuden liikennejärjestelmän suunnittelussa tarvitaan uudenlaista lähestymistapaa. Liikennemallien kehittämismahdollisuuksina esille nousevat seuraavat näkökulmat:

- Valtakunnallisen liikenteen mallintamisen mahdollisia kehittämisvaihtoehtoja ovat kehittynyt matkaketjulähtöinen neliporrasmalli tai aktiviteettimalli. Matkaketjujen mallintaminen on ruututasolla aloitettu jo brutus-malleissa (Moilanen et al. 2014b), jotka kuvaavat matkojen ketjutettuja peräkkäisiä määränpäitä. Jotta matkojen korvautuvuutta ja eri aktiviteettien muuttuvaa matkatuotosvaikutusta voitaisiin kuvata, aktiviteetit tulisi kuvata muuttuvina kokonaisajakäytöstä kilpailevina kohteina, jolloin malli kuvaisi paremmin ajankäytössä tapahtuvia muutoksia ja heijastaisi toimintaympäristön muutoksia liikenteen kysyntään.
- Kartoitetaan liikenteen muutosvoimat ja niiden suunta. Luodaan valtakunnan tason kulkutapamallit, joissa muuttujina ovat mm. ajoneuvo- ja kommunikaatiotekniikan kehitys, väestön ja toimintojen sijoittuminen tulevaisuuden tilanteessa sekä taloudellinen kehitys.
- Tutkitaan toimintojen ja alueiden saavutettavuutta. Tarkasteltavia markkinoita voivat olla raaka-aineet, tuotantolaitokset, toiminnot kuten asuminen, työpaikat, julkiset palvelut ja vapaa-aika: ”miten paljon puuta on saatavissa korkeintaan tietyin yksikkökustannuksin tietylle tehtaalle käyttäen nykyistä tai suunniteltua tieverkkoa”, ”kuinka kaukaa kaupunkiseudulla voi käydä toisssä 1,5 tunnin matka-ajan sisällä eri matkaketjuilla”.
- Hyödynnetään uusia big data -varantoja liikenteen kehityksen seurannassa ja luodaan niihin perustuvia lyhyen tähtäyksen kehityksen arviointimalleja.

Valtakunnallista liikennemallia voidaan kehittää liittämällä siihen simulaatio-osia, joissa muuttujien arvoille, esimerkiksi talouskasvulle, annetaan jakaumat ja vaihteluväli. Tuloksia voidaan käyttää herkkyyss- ja riskianalyseissä.

Koko järjestelmän ymmärtämistä voi parantaa dynaamisella systeemimallilla, joka soveltuu erityisesti muutosprosessien kuvaamiseen ja joka ottaa huomioon muuttujien keskinäiset riippuvaisuudet ja takaisinkytkennän. Dynaamisen systeemimallin etuna on, että sen avulla voidaan kuvata myös ajan mukana muuttuvia tekijöitä. (Pastinen 2014)

Suomessa alueet kehittyvät eri tavalla ja osin erisuuntaisesti: aktiivinen osa houkuttelee ihmisiä ja liikkuminen lisääntyy sekä absoluuttisesti että suhteellisesti, liikennejärjestelmän toimivuuteen tulee paineita. Vähemmän aktiivisessa osassa väestö vanhenee ja vähenee, toimintoja ajetaan alas. Liikenteen kysyntää on vähemmän kuin mille tarjonta on aikanaan mitoitettu. Maan eri osat vaativat erilaisen liikennejärjestelmän ja tulevaisuudessa myös ehkä erilaisia liikenne-ennustemenetelmiä, koska toimintaympäristön muutostekijät ovat eri alueilla erilaisia.

# Lähteet

Advanced Industries. 2015. Competing for the connected customer – perspectives on the opportunities created by car connectivity and automation. Advanced Industries, September 2015. McKinsey & Company.

Armstrong, Scott J. 1985. Long-Range Forecasting – From Crystal Ball to Computer. Wharton School, University of Pennsylvania. Second Edition. A Wiley-Interscience publication.

Atasoy, Bilge & Ikeda, Takuro & Song, Xiang & Ben-Akiva, Moshe E. 2015. The concept and impact analysis of a flexible mobility on demand system. Transportation Research Part C. Vol 56, s. 373–392.

Banister, D. & Hickman, R. 2012. Transport futures: Thinking of the unthinkable. Transport Policy, Vol. 29, s. 283–293.

Bettencourt, Luís M. A. & Lobo, José & Helbing, Dirk & Kühnert, Christian & West, Geoffrey B. 2007. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0610172104](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0610172104)

Berg, Johannes. 2015. Självkörande bilar – utveckling och möjliga effekter. Trafikanalys, Rapport 2015:6.

Ciari, Francesco. 2010. Estimation of car-sharing demand using an activity-based microsimulation approach: model discussion and preliminary results. 10th Swiss Transport Research Conference.

Donnelly, Rick & Erhardt, Greg D. & Moeckel, Rolf & Davidson, William A. 2010. Advanced practices in travel forecasting. Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 406. Transportation Research Board.

Fagnant, Daniel J. 2014. The future of fully automated vehicles: opportunities for vehicle- and ride-sharing, with cost and emission savings. Dissertation.

Fagnant, Daniel J. & Kockelman, Kara M. 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles using agent-based simulation model scenarios. Transportation Research, Part C, Vol. 40, s. 1–13.

Fagnant, Daniel J. & Kockelman, Kara M. 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. Transportation Research, Part A, Vol. 77, s. 167–181.

Firnkorn, Jörg & Müller, Martin. 2011. What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm. Ecological Economics, Vol. 70, s. 1519–1528.

Frost & Sullivan. 2015. Future of Personal Mobility - Life with or without ownership of cars. Market Insight.

HSL, 2011a. Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustemallit 2010. Julkaisuja 33. 27.12.2011.



HSL, 2011b. Helsingin seudun liikenne-ennustejärjestelmän yksilömallit. Julkaisuja 34. 28.12.2011.

HSL, 2012. Helsingin seudun pääpyöräilyverkon ja laatukäytävien määrittely. HLJ 2011. Julkaisuja 21. 2012.

Hickman, Robin & Saxena, Sharad & Banister, David & Ashiru, Olu. 2012. Examining transport futures with scenario analysis and MCA. Transportation Research, Part A, Transportation Research Part A, Vol. 46, s. 560–575.

Jahanshahi, Kaveh & Jin, Ying & Williams, Ian. 2015. Direct and indirect influences on employed adults' travel in the UK: New insights from the National Travel Survey data 2002–2010. Transportation Research Part A. Vol 80, s. 288–306.

KPMG, 2015. KPMG's Global Automotive Executive Survey – Who is fit and ready to harvest? [kpmg.com/GAES2015](http://kpmg.com/GAES2015)

KPMG, 2016. KPMG's Global Automotive Executive Survey – From a product-centric world to a service-driven digital universe.

Kuhnimhof, Tobias. 2013 SHANTI project: Main Results and Recommendations. Presentation at Eurostat Workshop on Passenger Mobility, June 17, 2013.

KvantiMOTV, 2015. Kvantitatiivisten menetelmien tietovaranto. <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html> Luettu 14.12.2015.

Kyrikiadis, M., Happee, R. & de Winter, J.C.F. 2015. Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. Transportation Research Part F 32 (2015), s. 127–140

Lapp, Tuomo & Ikkänen, Pekka. 2014a. Suomen ja ulkomaiden välisen meriliikenteen ennuste 2040. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 39/2014. Helsinki.

Lapp, Tuomo & Ikkänen, Pekka. 2014b. Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2035. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 51/2014. Helsinki.

Levinson, David M. & Krizek, Kevin J. 2015. The End of Traffic and the Future of Transport.

Liikennevirasto. 2016. Liikenne-ennustemallit. Strafica Oy. <http://extra.strafica.fi/livima>

Mallig, Nicolai & Kagerbauer, Martin & Vortisch, Peter. 2013. mobiTopp – A Modular Agent-based Travel Demand Modelling Framework. Procedia Computer Science 19 (2013), s. 854–859.

Metz, D. 2013. Peak Car and Beyond: The Fourth Era of Travel. Transport Reviews. Vol. 33, No. 3, s. 255–270.

Moilanen, Paavo. 2013. Käyttöön perustuvan liikenteen verotuksen vaikutusten arviointi valtakunnallisilla liikennemalleilla. Taustaraportti älykästä ja oikeudenmukaista liikennettä selvittäville työryhmälle. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 38/2013. Helsinki.

Moilanen, Paavo & Niinikoski, Miikka & Rinta-Piirto, Jyrki & Koponen, Ville & Haapamäki, Taina. 2014a. Valtakunnallinen liikenne-ennustemalli. Liikennevirasto. Helsinki.

Moilanen, Paavo & Pesonen, Hannu & Metsäranta, Heikki & Haapamäki, Taina. 2011. Liikenteen strategiset mallit Liikennevirastossa. Esiselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2011. Helsinki.

Moilanen, Paavo & Salomaa, Osmo & Niinikoski, Miikka. 2014b. Valtakunnallinen liikkumisvalintojen yksilömalli. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 12/2014. Helsinki.

Nieuwenhuijsen, Jurgen. 2015. Diffusion of Automated Vehicles. A quantitative method to model the diffusion of automated vehicles with system dynamics. Delft University of Technology.

OECD, 2015. Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic. International Transport Forum. Corporate Partnership Board Report.

Pawlak, Jacek & Polak, John W. & Sivakumar, Aruna. 2015. Towards a microeconomic framework for modelling the joint choice of activity–travel behaviour and ICT use. Transportation Research Part A, Vol. 76, s. 92–112.

Pastinen, Virpi. 2014. Liikkumistutkimukset ja liikenne-ennusteet tulevaisuuden muutosten haastamina. Millaisia edellytyksiä nykyiset liikkumistutkimukset ja liikennemallit tarjoavat tulevaisuuden liikkumismuotojen ennakkoinnille? Rakennusfoorumi – Kaupunkirakenne ja tulevaisuuden liikkuminen 1.4.2014.  
[https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5oJ5FjIGF/qT5h1pEdX/foorum\\_010412Pastinen.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5oJ5FjIGF/qT5h1pEdX/foorum_010412Pastinen.pdf)

Rigole, Pierre-Jean. 2014. Study of a Shared Autonomous Vehicles Based Mobility Solution in Stockholm. Kungliga tekniska högskolan.

Rinta-Piirto, Jyrki. 2011. Liikenneolosuhteet 2035. Rautateiden henkilöliikenteen ennustetarkasteluja. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2011.

Rissanen, Ruut & Rehunen Antti & Kalenoja, Hanna & Ahonen, Ossi & Mäkelä, Tommi & Rantala, Jarkko & Pöllänen, Markus. 2013. ALLI-kartasto. Suomen aluerakenteen ja liikennejärjestelmän kehityskuvan pohjustus. Ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö, työ- ja elinkeinoministeriö.

Ristikartano, Jukka & Liikkanen, Pekka & Tervonen, Juha & Lapp, Tuomo. 2014. Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2014.

SAE, 2015. Society of Automotive Engineers.  
[http://www.sae.org/misc/pdfs/automated\\_driving.pdf](http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf)

Skou Nicolaisen, Morten & Næss, Petter. 2015. Roads to nowhere: The accuracy of travel demand forecasts for do-nothing alternatives. Transport Policy. Vol 37, s. 57–63.

Strafica, 2015. Valtakunnallinen skenaariotyökalu. Menetelmäkuvaus. 24.5.2015.

Särkkä, Tapani. 2010. Strategiset valtakunnan tason liikennemallit. Yhteenvedo valituista TRB:n vuosikokouksen 2010 esitelmistä. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 05/2010. Helsinki.

Tal, Gil & Cohen-Blankshtain, Galit. 2011. Understanding the role of the forecast-maker in overestimation forecasts of policy impacts: The case of Travel Demand Management policies. *Transportation Research, part A*. Vol. 45, s. 389–400.

Tilastokeskus, 2014a. Suomen virallinen tilasto (SVT): Joukkoviestintä [verkkojulkaisu]. ISSN=2323-6329. 2014, Liitetaulukko 1. Sektoreiden osuudet joukkoviestintämarkkinoista 2000 - 2014, % . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 30.5.2016]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/jvie/2014/jvie\\_2014\\_2015-12-04\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jvie/2014/jvie_2014_2015-12-04_tau_001_fi.html)

Tilastokeskus, 2014b. Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön tieto- ja viestintätekniikan käyttö [verkkojulkaisu]. ISSN=2341-8699. 2014, 5. Verkkokauppa . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 28.3.2016]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/sutivi/2014/sutivi\\_2014\\_2014-11-06\\_kat\\_005\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/sutivi/2014/sutivi_2014_2014-11-06_kat_005_fi.html)

Toole, Jameson L. & Colak, Serdar & Sturt, Bradley & Alexander, Lauren P. & Evsukoff, Alexandre & González, Marta C. 2015. The path most traveled: Travel demand estimation using big data resources. *Transportation Research Part C*. Vol 58, s. 162–177.

Trafikverket, 2016. Trafikslagsövergripande plan för utveckling av metoder, modeller och verktyg – för analys av samhällsekonomi, järnvägskapacitet, effektsamband och statistik samt för trafik och transportprognoser. RAPPORT. 2016-02-25.

TRB. 2010. Advanced Practices in Travel Forecasting. NCHRP Synthesis 406, Transportation Research Board 2010.

Wagenaar, William W. & Sagaria, Sabato D. 1975. Misperception of exponential growth. *Perception & Psychophysics*, Vol. 18 (6), s. 416–422.

Walker, Scott J. & Shogan, Scott & Huntsinger, Leta & Wallace, Richard & Hong, Qiang. 2015. Use of data from connected and automated vehicles for travel demand modeling. Michigan Department of Transportation (MDOT), Center for Automotive Research (CAR), Parsons Brinkerhoff (PB). October 2015.

Wegener, Michael. 2013. The future of mobility in cities: Challenges for urban modelling. *Transport Policy*, Vol. 29, s. 275–282.

van Wijnen, Jorn J. 2014. Changing value networks in the downstream activities of the automotive industry due to transition to services. Delft University of Technology.

Ympäristöministeriö, työ- ja elinkeinoministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö & maa- ja metsätalousministeriö. 2015. Uusiutumiskykyinen ja mahdollistava Suomi – Aluerakenteen ja liikennejärjestelmän kehityskuva 2050.